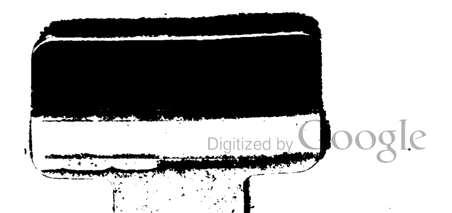
GRUNDRISS
DER
ELEKTROTECHNIK

Verfasst von

HEINRICH KRATZERT.

I. Theil, 1. Buch.

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE


Digitized by Google

GRUNDRISS

DER

ELEKTROTECHNIK

für den praktischen Gebrauch,
für Studierende der Elektrotechnik und
zum Selbststudium.

Verfasser:

Heinrich Kratzert,

Ingenieur und k. k. Professor für Elektrotechnik an der Fachschule für Elektrotechnik
der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X.

I. Theil, 1. Buch.

2. Auflage.

Elektricitätslehre mit besonderer Berücksichtigung der praktischen Nutzanwendungen, Wechselströme und Maße.

Mit 117 Abbildungen.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1899.

Verlags-Nr. 606.

Vorwort.

Das 1. Buch dieses Grundrisses der Elektrotechnik zerfällt in die folgenden drei Abtheilungen:

1. Die allgemeine Elektricitätslehre, welche die für den praktischen Elektrotechniker wichtigsten Gesetze und Erscheinungen der Elektricität umfasst. An Bekanntes anschließend, soll hier jener Zusammenhang der allgemeinen und angewandten Elektricitätslehre (Elektrotechnik) vermittelt werden, der wohl zu einer leichten Einführung in den Gegenstand und zu einem gründlichen Studium desselben unerlässlich ist. Diese Abtheilung führt in kürzester Zeit durch die gesammte Elektrotechnik. Die größte Aufmerksamkeit fanden die elektrischen Maschinen und Motoren. Die Stromrichtung wurde in diesen Apparaten mit Zuhilfenahme meiner Stromrichtungsregel bestimmt. Auf diesem Wege kommt man sehr bald in die Lage, diese Strom- und die Kraftlinienrichtungen augenblicklich anzugeben. Von den neuesten Erscheinungen, welche Aufnahme gefunden haben, seien angeführt: Röntgenstrahlen, Télescripteur, Zerograph, Fernseher, Beleuchtung und Telegraphie ohne Draht u. s. w. Der Umfang dieser Abtheilung hat sich durch praktische Zusätze etwa verdoppelt.

2. Die Maße. Auch die zweite Abtheilung wurde in dieser Auflage eingehender, als in der ersten erörtert. Nur auf diese Weise ist ein Einblick in die elektrischen Einheiten zu erzielen. Diese Lehren sollen weiters mit möglichst elementaren Mitteln für ein streng wissenschaftliches Studium des Gegenstandes vorbereiten. Am häufigsten kommen in der Praxis Widerstandsmessungen vor. Als Grundlage für diese Messungen sind sechs Tabellen sammt Erläuterungen beigeschlossen. Dieselben geben Zahlenwerte über Widerstände, Leistungsfähigkeiten, Widerstandszunahmen und Temperaturskoëfficienten der wichtigsten Leiter, die meines Wissens das erstemal in so großem Umfange veröffentlicht werden.

3. Die Wechselströme bilden einen neu aufgenommenen Abschnitt der sich in ungeahnter Entwickelung befindlichen Industrie.

Mit dem Maßstabe in der Hand habe ich die einfachsten Darstellungen und Lösungen der Aufgaben angestrebt.

Soweit es der Raum zuließ, wurde es versucht, durch Ziffern-Beispiele belebend in den Stoff einzugreifen. Dieses Buch dürfte somit eine Grundlage für jedes elektrotechnische Studium bilden und sich daher nicht nur für die folgenden Bücher dieses Grundrisses der Elektrotechnik, sondern auch für elektrotechnische Specialwerke als Einleitung sowie selbständig für den praktischen Gebrauch, für Studierende und für das Selbststudium eignen. Jenen Collegen und Freunden, welche mich durch Zeichnungen, Berichtigungen und durch das Lesen der Correcturen wesentlich unterstützt haben, spreche ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank aus und danke ebenso allen betheiligten Kreisen für die wohlwollende Aufnahme der 1. Auflage meines Grundrisses der Elektrotechnik.

Wien, im Juni 1898

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

Allgemeine Elektricitätslehre.

Einleitung.

I. Abschnitt.

Elektricität der Ruhe.

II. Abschnitt.

Elektricität der Bewegung.

Angewandte Elektricitätslehre oder Elektrotechnik.

I. Abschnitt.

Physikalische Maße.



II. Abschnitt.

Wechselströme.

Allgemeine Elektricitäts-Lehre.

Einleitung.

1. Gegenstand. Alles, was wir durch unsere Sinne wahrnehmen können, heißt Sinnenwelt oder Natur.

Die Wissenschaft, welche sich mit der Erforschung und Erkenntnis alles dessen, was wir durch unsere Sinne wahrnehmen können, befasst, heißt Naturwissenschaft oder Naturkunde.

Mit den Sinnen nehmen wir wahr:

a) Natur-Körper oder Gegenstände, das sind mit Stoff (Materie oder Substanz) ausgefüllte, allseitig begrenzte Theile des Raumes und

b) Erscheinungen oder Phänomene (Eigenschaften und Veränderungen), die nicht allein, sondern nur an den Körpern vorkommen, z. B. Ton, Farbe, Ruhe, Bewegung u. s. w.

Die Naturwissenschaft zerfällt demnach in die Beschreibung der Naturkörper (Naturprodukte im Gegensatze zu Kunstprodukten), Naturbeschreibung oder Naturgeschichte und in die Untersuchung der an den Körpern auftretenden Erscheinungen, Naturlehre.

Die Naturkörper zerfallen in organische Körper (Thiere und Pflanzen) und unorganische (leblose) Körper.

Mit den Erscheinungen an den unorganischen Körpern befassen sich die Physik und die Chemie. Jene Erscheinungen, bei welchen der Stoff der Körper nicht verändert wird, gehören in das Gebiet der Physik, jene Erscheinungen dagegen, bei welchen der Stoff der Körper verändert wird, in das Gebiet der Chemie.

Die nächsten Zweige der Physik sind: Mechanik, Schall, Licht, Wärme, Magnetismus und Elektricität.

Die Elektricitätslehre zerfällt in die allgemeine Elektricitätslehre und in die angewandte Elektricitätslehre oder Elektrotechnik.

Die allgemeine Elektricitätslehre lehrt die Erscheinungen, die Gesetze und Wirkungen der Elektricität, die angewandte Elektricitätslehre oder Elektrotechnik dagegen wendet die Wir-

kungen der Elektricität in der elektrotechnischen Industrie für die verschiedensten Zwecke des praktischen Lebens an.

Die allgemeine Elektricitätslehre zerfällt in 2 Theile:

1. Elektricität der Ruhe (Reibungselektricität, statische Elektricität oder Elektrostatik), welche die Erscheinungen, die Gesetze, sowie die Wirkungen sehr kurze Zeit dauernder (augenblicklicher oder momentaner) Ströme (elektrischer Schläge) oder auf längere oder kürzere Zeit unterbrochene (diskontinuirliche) Folgen solcher Ströme zum Gegenstande hat.

2. Elektricität der Bewegung (Berührungselektricität, dynamische Elektricität, Galvanismus oder Voltaismus), welche sich mit den Erscheinungen, den Gesetzen und den Wirkungen einer ununterbrochenen (kontinuirlichen) Gegenströmung und Vereinigung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten befasst.

I. Abschnitt.

Elektricität der Ruhe.

I. Kapitel.

Die Elektricität im Zustande der Isolation.

2. Elektrischer Grundversuch. Reibt man einen Glasstab (eine Glasröhre) mit Seide, so erhält derselbe folgende Eigenschaften:

a) Der Glasstab zieht Hollundermarkkügelchen, Papierschnitzelchen u. s. w. an und stößt sie nach der Berührung wieder ab.

b) Beim Reiben hört man ein knisterndes Geräusch.

c) Zwischen Reibzeug und Glasstab springen kleine Funken über.

d) Aus dem Glasstabe kann man mit den Fingern Funken ziehen, die im Finstern sichtbar sind. Dabei empfindet man in den Fingern (Knöcheln) einen schwachen Stich.

e) In der Nähe des Glasstabes macht sich ein eigener Geruch (Ozon-Geruch) bemerkbar.

f) Kommt man mit dem Gesichte in die Nähe des Glasstabes, so glaubt man, dass man sich in einem Spinnengewebe befindet.

Ein Körper, welcher diese Eigenschaften besitzt, ist elektrisch. Die Ursache elektrischer Erscheinungen nennt man Elektricität.

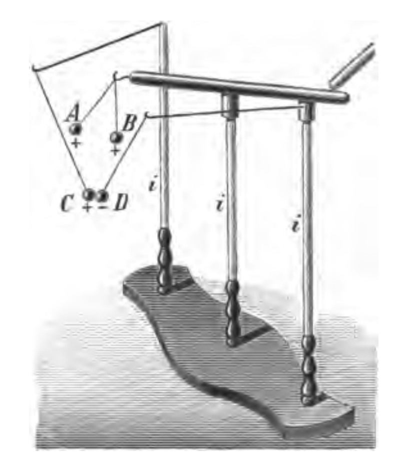


Fig. 1. Apparat zum Nachweise des elektrischen Grundversuches.

Bei sämmtlichen Versuchen über Reibungselektricität müssen die Apparate trocken und warm sein und bleiben.

Dem griechischen Philosophen Thales von Milet (600 v. Chr.) war die Eigenschaft des Bernsteines (ēlektron), durch Reiben die Fähigkeit zu erlangen, andere Körper anzuziehen, bekannt; erst im Jahre 1600 wurde dieselbe Eigenschaft von dem englischen Physiker William Gilbert an andern Körpern nachgewiesen.

3. Positiv und negativ elektrische Körper. Theilt man zwei nebeneinander befindlichen Ballons *A* und *B*, Fig. 1, die Elektricität

einer geriebenen Glasstange mit, so werden sich dieselben abstoßen. Dasselbe geschieht, wenn man den beiden Ballons die Elektricität einer mit Flanell, Wolle oder Pelz geriebenen Harzstange übermittelt, d. h.:

Gleichnamige Elektricitäten stoßen einander ab.

Theilt man, Fig. 1, einem Ballon *C* Glas-, dem anderen *D* Harz-Elektricität mit, so ziehen sie einander aus größerer Entfernung an, d. h.:

Ungleichnamige Elektricitäten ziehen einander an.

Sobald sich letztere Ballons berühren, heben die beiden Elektricitäten einander auf, ähnlich wie positive und negative Größen in der Mathematik d. h.:

Gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität heben sich auf (neutralisieren sich). Dieses Gesetz steht im Zusammenhange mit der Annahme, dass jeder unelektrische Körper beide Elektricitäten in gleicher Menge enthalte (Symmer).

Man nennt mit Franklin (1751) die Glaselektricität die positive, die Harzelektricität die negative Elektricität.

4. Gute und schlechte Leiter der Elektricität. Körper, welche die Elektricität, wenn sie mit einem elektrischen Körper bestrichen werden, schnell aufnehmen und sie ebenso schnell an ihre Umgebung abgeben, nennt man gute Leiter der Elektricität; diese müssen, wenn ihre Elektricität andauern soll, durch schlechte Leiter der Elektricität (Isolatoren oder Diëlektrica) isoliert werden, das sind solche Leiter, welche die Elektricität sehr langsam aufnehmen und sehr langsam abgeben.

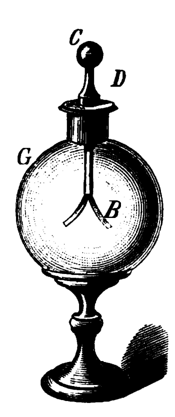


Fig. 2. Elektroskop.

Gute Leiter sind die Metalle, Kohle u. s. w., schlechte Leiter dagegen Glas, Porzellan, Guttapercha, Kautschuk, Holz, Hartgummi, Lithin, Ebonit, Vulkanit, Baumwolle, Hanf, Jute, Seide, Papier, Presspan, Fibre, Stabilit, Mikanit, Glimmer u. s. w. Die Metalle und die Kohle nennt man Leiter 1. Ordnung, die Säuren und Salzlösungen Leiter 2. Ordnung.

5. Mittheilung der Elektricität. Streicht man einen guten Leiter mit einem elektrischen Körper, so wird derselbe durch Mittheilung gleichnamig elektrisch; die Menge der Elektricität, die der gestrichene Körper gleich nach der Mittheilung besitzt, hat der streichende Körper verloren.

6. Elektroskope. Jeder Apparat, welcher dazu dient, den elektrischen Zustand eines Körpers und die Art desselben zu erkennen, nennt man ein Elektroskop.

Eines der gebräuchlichsten Instrumente ist das Goldblattelektroskop von Bennet (1787), Fig. 2. In einem Glasballon *G* sind die beiden Goldblättchen *B* an einem Messingdrahte *D* befestigt. Der Messingdraht ist an der Einführung in den Ballon durch Schellack isoliert. Das Ende des Messingdrahtes steht mit dem Kollektorknopfe *C* in metallischer Verbindung.

1. Versuch. Erkennung des elektrischen Zustandes eines Körpers. Legt man an den Knopf *C* einen elektrischen Körper, so werden die beiden Pendel *B* gleichnamig elektrisch und stoßen einander ab.

2. Versuch. Unterschied zwischen positiver und negativer Elektricität. Theilt man dem Knopfe *C* Glaselektricität mit, so gehen die beiden Pendel *B* auseinander, sie fallen jedoch zusammen, wenn man dem Knopfe *C* gleich darauf Harzelektricität mittheilt.

Versieht man das Elektroskop mit einer Theilung, und zwar so, dass man die Ablenkung der Blättchen aus der lothrechten Lage ablesen kann, dann nennt man dasselbe Elektrometer. Anwendung: Messung der atmosphärischen Elektricität.

7. Elektricität durch Fernwirkung. Nähert man, Fig. 3, einem elektrischen Körper *A* einen unelektrischen *BC*, welchen der Glasträger *J* isoliert trägt, so wird der letztere Körper an der Seite *B* ungleichnamig, an der Seite *C* mit dem Körper *A*, gleichnamig elektrisch. Diese Elektricität, heißt Elektricität durch Fernwirkung, Vertheilung, Influenz oder Induktion.

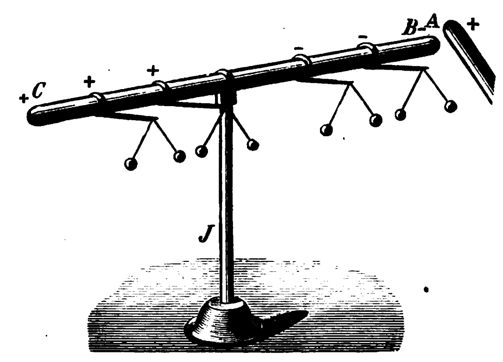


Fig. 3. Influenz-Apparat.

8. Natürliche und gebundene Elektricität. Jeder Körper ist von Natur aus elektrisch und enthält beide Elektricitäten in gleicher Menge (§ 3). Berührt man, Fig. 3, den Körper *BC* mit dem Finger, so springt zwischen Körper und Finger ein Funke über, die Pendel in *C* fallen zusammen, d. h. die positive Elektricität ist zur Erde abgeleitet worden, die Pendel bei *B* stoßen einander stärker ab, d. h. die negative Elektricität des Körpers *BC* bleibt von der positiven des Körpers *A* gebunden.

9. Diëlektrische Polarisation. Auch auf Nichtleiter wirkt die Elektricität in die Ferne ein, jedoch nur derart, dass die entgegengesetzten Elektricitäten in den kleinsten Theilchen (Massentheilchen oder Molekülen) derselben, sowie es Fig. 4 veranschaulicht, getrennt werden. Dieser Zustand der Nichtleiter heißt d i ë l e k t r i s c h e P o l a r i s a t i o n. Jedes Massentheilchen zeigt + und — Elektricität. Die ungleichnamigen Pole sind ähnlich wie in Fig. 3 dem in die Ferne wirkenden elektrischen Körper zu-, die gleichnamigen dagegen abgewendet.

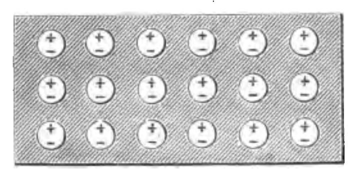


Fig. 4. Diëlektrische Polarisation.

10. Elektrisiermaschine (O t t o v o n G u e r i c k e, 1663), Fig. 5. Die wichtigsten Bestandtheile der Elektrisiermaschine sind folgende:

a) Ein zu reibender Körper, Glasscheibe *G*.

b) Ein reibender Körper, Reibzeug, Reibkissen *R* überzogen mit einem Amalgame (Quecksilber-Legierung), bestehend aus Quecksilber, Zinn und Zink).

c) Ein isolierter Leiter, + Konduktor *C*, welcher die erzeugte + Elektricität aufnimmt.

d) Ein isolierter Leiter, — Konduktor *K*, welcher die erzeugte — Elektricität aufnimmt.

Auf dem Konduktor kann behufs Vergrößerung seiner Oberfläche der sogenannte W i n t e r'sche R i n g aufgesteckt werden. Derselbe besteht aus einem Kupferdraht, welcher sich innerhalb eines Holzringes befindet. Kupferdraht und Konduktor stehen in metallischer Verbindung, so dass durch den Kupferdraht die Oberfläche des Konduktors vergrößert erscheint.

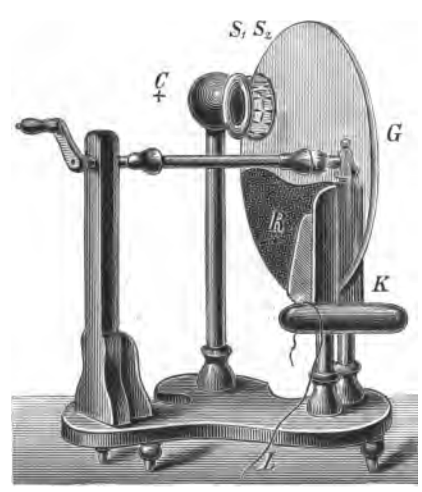


Fig. 5. Reibungs-Elektrisier-Maschine.

Aus den beiden Holzringen S_1 und S_2, welche sich zu beiden Seiten der Glasscheibe *G* befinden, ragen gegen die Scheibe hin metallische Saugspitzen hervor, von denen eine Metalleitung zum Konduktor führt. Die Saugspitzen saugen die + Elektricität durch die sogenannte Spitzenwirkung von der Glasscheibe *G* auf den + Konduktor *C*. Beim Reiben wird die Scheibe positiv, das Reib-

zeug negativ elektrisch. Die — Elektricität strömt auf den — Konduktor K. Eine von diesen beiden Elektricitäten muss zur Erde abgeleitet werden, wenn sich die beiden Elektricitäten nicht schon beim Entstehen wieder vereinigen sollen. In Fig. 5 deutet L die Leitung zur Erde an.

Einfache Elektrisiermaschinen stellen Übersetzungen, z. B. Riemenübersetzungen dar.

Bei dem Schleifen des Riemens überspringen zwischen Riemen und Scheibe Funken; aus dem Riemen kann man Funken ziehen.

11. Die Hydroelektrisiermaschine (Armstrong, 1880) erzeugt Elektricität durch Reibung von Wasserdämpfen an dem Hahne eines isolierten Dampfkessels.

12. Ansammlungsapparate (Kondensator und Ladungsapparat). Von dem Konduktor einer Elektrisiermaschine aus kann man einem Leiter nur so lange Elektricität mittheilen, bis die elektrische Dichte des Leiters gleich derjenigen des Konduktors ist. Zur Ansammlung grosser Mengen beider Elektricitäten in zwei von einander isolierten Leitern oder einer Elektricität in einem Leiter und zur Verdichtung kleiner Elektricitätsmengen, um dieselben nachweisen und messen zu können, dienen die sogenannten Ansammlungsapparate; sie beruhen wesentlich auf der im § 7 beschriebenen Fernwirkung der Elektricität. Die beiden Leiter heißen Belegungen (Elektroden, Armaturen), die trennende Schicht nennt man Diëlektricum.

Die Kondensatoren werden in Platten-, Cylinder- und Kugelkondensatoren eingetheilt.

13. Plattenkondensatoren. Diese Kondensatoren bestehen aus zwei sich gegenüberstehenden, parallelen, leitenden Platten. Zwischen den Platten befindet sich ein Isolator.

Die Platte, welcher Elektricität mitgetheilt wird, heißt Kollektor-, die andere Kondensatorplatte.

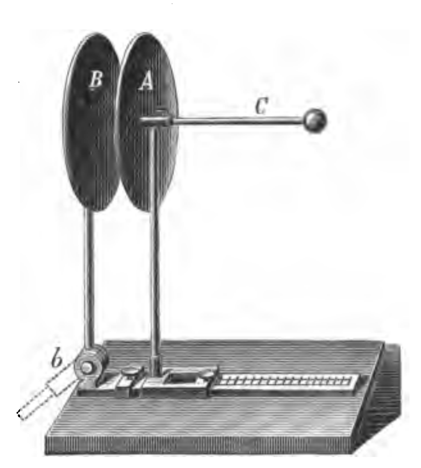


Fig. 6. Ansammlungs-Apparat nach Rieß.

1. Der Ansammlungsapparat von Rieß (1853), Fig. 6. Die wichtigsten Bestandtheile dieses Apparates sind der Kollektor A, der Kondensator B und der Fortsatz C sammt der Kugel, getragen von dem Kollektor A. Klappt man B um das Gelenke b um und verbindet C mit dem $+$ Konduktor einer

Elektrisiermaschine, so wird A durch Mittheilung positiv elektrisch. Dreht man nun B in die der Figur entsprechende Stellung zurück, so wirkt A auf B vertheilend ein. Die A zugewendete Fläche von B wird durch Fernwirkung negativ, die abgewendete positiv elektrisch. Die + Elektricität von B wird die — Elektricität von B neutralisieren (§ 3). Leitet man jedoch die + Elektricität B zur Erde ab, so wird die — Fläche von B stärker elektrisch. Diese — Elektricität zieht die + Elektricität von A und C in die dem Kondensator zugewendete Fläche von A, so dass die Dichte der Elektricität in A und C vermindert wird. Die Dichte der Elektricität der Fortsatzkugel sinkt unter die des Konduktors der Elektrisiermaschine und bei gegenseitiger Berührung muss auf die Fortsatzkugel wieder Elektricität übergehen. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis die Dichte der Elektricität der Fortsatzkugel gleich ist der Dichte der Elektricität auf dem Konduktor der Elektrisiermaschine; dann ist der Ansammlungsapparat geladen.

Unter der Verstärkungszahl eines Ansammlungsapparates versteht man den Quotienten der Dichte des Kollektors durch die des Konduktors oder den Quotienten der Dichte der Fortsatzkugel vor und nach der Drehung des Kondensators bei der ersten Einströmung der Elektricität.

$$\text{Verstärkungszahl} = \frac{\text{Dichte des Kollektors.}}{\text{Dichte des Konduktors.}}$$

Nach Rieß gelten folgende Gesetze:

1. Für größere Scheiben ist die Verstärkungszahl größer.

2. Die Verstärkungszahl nimmt ab, wenn die Entfernung zunimmt (bei kleineren Entfernungen umgekehrt proportional).

3. Die Verstärkungszahl nimmt etwas zu, wenn die Länge der Zuleitung stark abnimmt.

4. Die Verstärkungszahl ist größer, wenn der Ableitungsdraht des Kondensators zu seiner Fläche parallel lauft, als wenn er dazu senkrecht ist.

5. Die Verstärkungszahl ist größer, wenn die Zuleitung nach der Mitte des Kollektors anstatt nach dem Rande hin erfolgt.

6. Die Verstärkungszahl hängt von der Art des Isolators ab.

Bei einem Scheibendurchmesser von 184 *mm*, einer Scheibenentfernung von 4·5 *mm*, einer Dichte am Ende der Zuleitung von 0·155 von der Anfangsdichte war die Verstärkungszahl $= \frac{1}{0{\cdot}155} = 6{\cdot}4$; bei einer Entfernung von 9 *mm* $= \frac{1}{0{\cdot}274} = 3{\cdot}6$.

2. Kondensatorelektroskop, Fig. 7. Volta hat den Ansammlungsapparat dazu verwendet, um Elektricitäten von geringer Dichte nachzuweisen. Schraubt man anstatt des Kollektorknopfes C, Fig 2, auf die Zuleitungsstange des Elektroskopes die Kondensatorplatte C und stellt darauf die Kollektorplatte P mit dem isolierenden Glasgriffe J, so veranschaulicht diese Anordnung ein sehr empfindliches

Instrument zur Nachweisung ganz geringer Elektricitätsmengen. Kollektor und Kondensator sind an den sich berührenden Flächen mit einer Firnisschichte überzogen, welche als Isolator dient. Theilt man z. B. bei dieser Anordnung der Kollektor platte C + Elektricität mit und berührt die Kondensatorplatte P ableitend, so zeigt das Elektroskop + Elektricität an, wenn die Kondensatorplatte abgehoben wird.

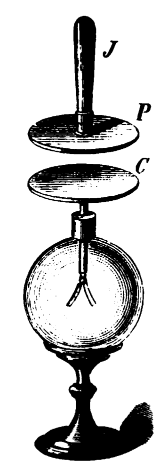


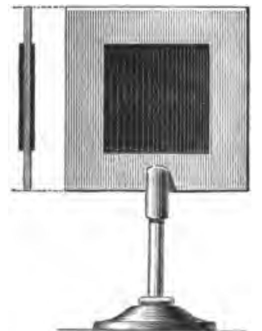
Fig. 7. Kondensator-Elektroskop.

3. Die Franklin'sche Tafel, Fig. 8, besteht aus einer viereckigen Glastafel, welche zu beiden Seiten mit Stanniol so belegt ist, dass ein breiter Rand frei bleibt. Der freibleibende Rand wird, um Feuchtigkeit abzuhalten, mit Siegellackfirnis bestrichen.

4. Glimmer-, Papier- und andere Kondensatoren werden durch Übereinanderschichtung von Staniolblättern und Blättern aus isolierendem Materiale (Glimmer, Papier u. s. w.) hergestellt.

5. Die Normalkondensatoren von Siemens & Halske bestehen aus einem Systeme von übereinanderliegenden Metallscheiben, welche sich, sorgfältigst isoliert, in einem Kasten befinden. Während des Gebrauches wird durch den Kasten trockene Luft von 20° C. geblasen.

6. Jede Luftleitung, z. B. eine Telegraphen oder Telephonleitung stellt einen Kondensator vor; die Leitung bildet einen, die Erde den zweiten Leiter, die Luft den Isolator.


Fig. 8. Franklin'sche Tafel.

14. Cylinderkondensatoren sind aus von einander isolierten, leitenden Cylindern zusammengesetzt.

1. Die Leydnerflasche (Kleist 1745, Cuneus 1746), Fig. 9, sammelt größere Elektricitätsmengen an als ein Leiter für sich aufzunehmen vermag. Sie besteht aus einem innen und außen bis zu $^2/_3$ seiner Höhe mit Stanniol belegten Glasbecher, auf dessen freier Oberfläche zur Abhaltung von Feuchtigkeit Siegellackfirnis aufgetragen ist. Während die eine Belegung leitend mit der Erde verbunden ist, führt man der anderen Elektricität z. B. dadurch zu, dass man den Knopf K an den Konduktor einer thätigen Elektrisiermaschine legt. Stärkere elektrische Ladungen erhält man, wenn man die äußeren und inneren Belegungen mehrerer Flaschen zu einer sogenannten Batterie verbindet.

2. Kabel für die elektrische Beleuchtung und Kraftübertragung besitzen einen inneren Kupferleiter, einen Isolator und einen äußeren Blei- (oder Blei- und Eisenband-) Leiter und sind deshalb sowie Telegraphen- und Telephonkabel als Kondensatoren anzusehen. Man kann auch das Wasser oder die Erde, in welchen das Kabel liegt, als äußeren Leiter ansehen.



Fig. 9.
Leydnerflasche.

15. Kugelkondensatoren. Verbindet man eine metallene Hohlkugel mit einer Elektrisiermaschine und bringt dieselbe im Innern einer zweiten metallenen Hohlkugel an, welche mit der Erde leitend verbunden ist, so erhält man einen Kugelkondensator.

16. Kondensatoren.

Die Kondensatoren sind nur für augenblickliche Stromwirkungen durchlässig, für längere dagegen erweisen sie sich als undurchdringlich; sie finden deshalb nur in der Elektricität der Ruhe und für Wechselströme Anwendung.

Schaltet man einen Kondensator an die Pole einer Gleichstrom-Elektricitätsquelle (Element oder Gleichstrommaschine), so wird sich derselbe bis zur Dichte (§ 13) der Pole der Elektricitätsquelle laden; eine weitere Elektricitätsströmung erscheint ausgeschlossen. Bei der letzteren Anordnung stellen die Kondensatorplatten die Fortsetzung der Pole der Elektricitätsquelle vor und müssen deshalb als Theile derselben dasselbe Potential besitzen.

Anwendung der Kondensatoren in der Elektrotechnik. Untersuchungen an Kabeln, Beleuchtung und Kraftübertragung mittels Wechselstrom, Telegraphie, Telephonie, Bestimmung von Kapacitäten, Diëlektricitäts-Konstanten, Induktions-Koëfficienten u. s. w.

17. Diëlektricität (Faraday 1838, Boltzmann 1872—75). Befinden sich zu beiden Seiten eines Nichtleiters entgegengesetzte elektrische Ladungen, so wird in dem Nichtleiter ein eigenthümlicher Zustand hervorgerufen, welcher auf die Ladungen zurückwirkt. Man nennt diesen Zustand und die damit verbundenen Veränderungen der Ladungen Diëlektricität (siehe auch § 9). Das Diëlektricum eines geladenen Kondensators befindet sich im Zustande der Diëlektricität. Die Zahl, welche anzeigt, wie vielmal so stark die Ladung eines Kondensators bei Anwendung eines anderen Diëlektricums ist als der Luft, heißt Vertheilungszahl[1]) (Diëlektricitätskonstante, specifische Induktionskapacität) des Isolators.

---

[1]) Dr. von Waltenhofen, Die internationalen absoluten Maße, Seite 110.

18. Die Influenzelektrisiermaschine (Holtz, 1865) erzeugt aus einer gegebenen kleinen Elektricitätsmenge durch ununterbrochene Influenzwirkung große Elektricitätsmengen. Poggendorf hat im Jahre 1876 mit solchen Maschinen das Problem der Kraftübertragung durch Influenzelektricität gelöst, indem er den Strom einer Influenzelektrisiermaschine in eine zweite schickte und so deren drehbare Scheibe in Rotation versetzte. Die Influenzelektrisiermaschinen liefern viel größere Elektricitätsmengen als die bisher besprochenen Apparate.

19. Atmosphärische Elektricität.

Die Elektricität der Luftschichten ist in der Regel +, die der Wolken bald +, bald —.

20. Blitz, Donner, Blitzableiter. Den Entladungsfunken zweier Wolken oder einer Wolke und der Erde nennt man den Blitz, das durch denselben verursachte Geräusch den Donner. Den Ausgleich der Elektricitäten der Gewitterwolken und der Erde vermittelt der Blitzableiter (Benjamin Franklin, 1753).

21. Nordlicht (Polarlicht) ist eine atmosphärische Lichterscheinung, welche aus einer leuchtenden Krone am nördlichen Horizonte (Nordlichtkrone) besteht.

22. Ruhende Elektricität.

Die Reibung ist die Quelle der ruhenden Elektricität; letztere wird weiters durch alle Vorgänge erregt, welche eine ähnliche Erschütterung der Massentheilchen (Moleküle) von Körpern zur Folge haben.

Solche Erschütterungen rufen hervor:

1. Feilen, Schaben, Zerschneiden, Zerbrechen, Auseinanderreißen vieler Substanzen, Druck und Erwärmung.

Beispiele: Die von Harz, Wachs, Holz u. s. w. abgeschabten Theile sind elektrisch. Beim Zerschneiden von Holz, Abspalten von Glimmer- oder Gypsblättchen zeigen die Spaltungsflächen Spuren von Elektricität. Die Bruchflächen einer gebrochenen Siegellackstange sind elektrisch. Zerschneidet man einen Kork und drückt die Schnittflächen gegeneinander, so zeigen sie Spuren von Elektricität. Viele Krystalle werden durch Druck oder Erwärmung elektrisch. Durch Druck erhalten elektrische Eigenschaften: Doppelspat, Arragonit, Flussspat, Bergkrystall; durch Erwärmung: Turmalin u. s. w.

Mit den elektrischen Erscheinungen bei Erhitzung der Krystalle befasst sich die Pyroelektricität.

2. Flussspat wird durch Beleuchten elektrisch. Erscheinungen dieser Art nennt Hankel photoelektrische, dagegen aktinoelektrische das Elektrischwerden des Bergkrystalls u. s. w. nach Absorption von Wärmestrahlen.

3. Der Verbrennungs-Vorgang; die Flammen des Wasserstoffgases, Alkohols u. s. w. haben elektrische Eigenschaften.

4. Das Glimmen der Körper z. B. die Elektricität erzeugt durch das Anzünden eines Räucherkerzchens u. s. w.

5. Das Verdampfen. Chemisch reines Wasser bleibt beim Verdampfen unelektrisch; das Wasser wird + und der Dampf — elektrisch, wenn es mit den Oxyden von

Kalium, Natrium, Calcium oder Barium gemischt erscheint, das Wasser wird — und der Dampf + elektrisch, wenn das Wasser eine lösliche Säure, ein Carbonat, Sulfat, Chlorid, Nitrat oder Acetat aufgenommen hat. Verdampft man mit diesen Salzen gemischtes Wasser unter einem Drucke, welcher größer ist, als der Luftdruck, so wächst die Menge der Elektricität mit dem Drucke.

II. Kapitel.

Die Wirkungen der Elektricität.

23. Wirkungen des elektrischen Stromes. Die Wirkungen des elektrischen Stromes lassen sich am besten mit Hilfe eines Dauerstromes, wie wir ihn in der Berührungselektricität kennen lernen werden, nachweisen. Hier kommen nur die Wirkungen der augenblicklichen Ströme der ruhenden Elektricität, die Wirkungen des raschen Verlaufes und plötzlichen Ausgleiches großer Elektricitätsmengen des Entladestromes in Betracht.

Die Wirkungen des Stromes zerfallen:

I. Wirkungen im Schließungskreise.
  1. Physiologische Wirkungen.
  2. Chemische Wirkungen.
  3. Wärmewirkungen.
  4. Lichtwirkungen.
  5. Mechanische Wirkungen.

II. Wirkungen außerhalb des Schließungskreises.
  1. Magnetische Wirkungen.
  2. Elektrische Wirkungen.

I. Wirkungen im Schließungsbogen.

24. Physiologische Wirkungen.

Schaltet man seinen Körper in den Schließungsbogen einer Elektricitätsquelle, so fühlt man im Augenblicke der Entladung einen Schlag im Innern des Körpers. Starke Entladungen können dauernde Lähmungen, ja sogar den Tod zur Folge haben. Lässt man auf eine Stelle des Körpers den Strom oft überspringen, so bildet sich daselbst eine Blase.

25. Chemische Wirkungen.

Der Entladungsstrom zerlegt chemisch zusammengesetzte Flüssigkeiten.

26. Wärmewirkungen.

Durch den Funken der Elektrisiermaschine kann man Äther, Alkohol, Terpentin und andere ätherische Öle, ebenso Knallgas, feste Körper, Schießpulver, Schießbaumwolle, Dynamit, Meganit u. s. w. entzünden.

Starke Entladungen bewirken das Roth-, Weißglühen und Schmelzen eines Drahtes.

Anwendung: Elektrische Glüh- und Funkenzündung.

27. Lichtwirkungen.

Die elektrische Entladung durch die Luft, durch irgend ein Gas oder durch Flüssigkeiten ist mit einer Lichterscheinung verbunden. Beim Entladen einer elektrischen Batterie, einer Elektrisiermaschine u. s. w. sieht man helle Funken überspringen.

Durchgang der Elektricität durch Gase. Die Luft und Gase sind im verdünnten Zustande für die Elektricität leicht durchlässig. Schmilzt man in ein Glasrohr an jedem Ende desselben einen Draht (Elektrode) ein, verdünnt in dem Rohre die Luft und schaltet diese Elektroden in die sekundären Windungen eines Ruhmkorff (§ 75), so entsteht zwischen den Elektroden ein violettes Lichtband. Man nennt diese Röhren Geißler'sche Röhren. Hittorf fand (1869), dass bei steigender Verdünnung die Glaswand gegenüber der Kathode hellgrün leuchtet. Es gehen von der Kathode Strahlen aus, welche selbstleuchten phosphorescieren). Diese Strahlen heißen Kathodenstrahlen und die Röhren Hittorf'sche (William Crookes'sche) Röhren. Nach Wilhelm Conrad Röntgen gehen von der Stelle des Selbstleuchtens Strahlen aus, welche auf photographische Platten einwirken und fluorescenzfähige Körper zum Leuchten (Fluorescieren) erregen. Letztere Strahlen durchdringen die meisten nichtmetallischen Körper (Holz, Kautschuk, Hartgummi, Kork, Kohle, Graphit, Aluminium, menschlicher Körper u. s. w.), so dass man durch diese Körper hindurch photographieren kann.

28. Mechanische Wirkungen.

Die aus den Spitzen des Konduktors einer Elektrisiermaschine ausströmende Elektricität bringt Bewegungen hervor, von den Spitzen geht ein Luftstrom aus, den man leicht mittels einer Flamme und weiters dadurch, dass er fühlbar ist, nachweisen kann. Elektrische Entladungen durchlöchern Papier, Glas u. s. w.

II. Wirkungen außerhalb des Schließungskreises.

29. Magnetische Wirkungen.

Der um eine Magnetnadel geführte augenblickliche Strom vermag dieselbe abzulenken. Stahlnadeln, welche in der Nähe des Entladestromes liegen oder um welche derselbe geführt wird, erscheinen dauernd magnetisch.

30. Elektrische Wirkungen.

Die elektrischen Wirkungen sind Influenzwirkungen. Körper, welche dem Konduktor einer Elektrisiermaschine nahe stehen, werden durch Influenz elektrisch. Entladet man den Konduktor plötzlich, so vereinigen sich die früher durch Influenzwirkung getrennten Elektricitäten ebenfalls plötzlich. Diese Erscheinung führt den Namen elektrischer Rückschlag.

II. Abschnitt.

Elektricität der Bewegung.

---

1. Kapitel.

Die Entstehung des galvanischen Stromes.

31. Elektricitätserregung durch den chemischen Vorgang (Galvani 1789, Volta 1794).

Ebenso wie durch Reibung entsteht durch Berührung zweier Körper miteinander Elektricität.

Taucht man zwei verschiedene Metalle in eine Flüssigkeit, so dass sie mit der Flüssigkeit und durch diese miteinander in Berührung stehen, so werden sie an beiden Enden (inner- und außerhalb der Flüssigkeit) entgegengesetzt elektrisch.

Die Metalle und die Kohle zeigen auch freie Elektricität, wenn man sie einzeln in eine Flüssigkeit taucht; die Flüssigkeit besitzt die entgegengesetzte Elektricität.

Die Ursache der Elektricitätserregungen nennt man elektromotorische Kraft; letztere wirkt auf die sich berührenden Körper gleichsam vertheilend ein, hebt den natürlichen Zustand der Körper (§ 8) auf, führt die positive Elektricität auf den einen, die negative Elektricität auf den anderen Pol und erhält die entgegengesetzten Elektricitäten getrennt.

Unter einem elektrischen Strome versteht man die dauernde Erzeugung, Gegenströmung und Vereinigung der beiden Elektricitäten in einem Leiter.

Die Metalle und die Kohle lassen sich in eine Reihe bringen, welche die folgenden Eigenschaften besitzt:

a) Das in der Reihe vorangehende Glied wird an dem aus der Flüssigkeit hervorragenden, freien Ende negativ elektrisch.

b) Der Unterschied in der elektromotorischen Kraft der Endpole ist derselbe, es mögen sich die Metalle und die Kohle unmittelbar oder durch ihre Zwischenglieder in der Reihe berühren.

c) Die elektromotorische Kraft ist um so größer, je weiter die Metalle in der Spannungsreihe auseinander stehen.

Die wichtigsten Glieder dieser sogenannten Spannungsreihe sind: Amalgamiertes Zink, Zinn, Blei, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin und Kohle.

Galvani beobachtete 1789, dass ein Froschpräparat zuckt, wenn die Muskeln mit einem Metalle, die Nerven mit einem anderen Metalle berührt werden und beide Metalle untereinander in Verbindung stehen.

Volta gab im Jahre 1794 die richtige Erklärung dieser Erscheinung; er bezeichnete als Ursache obiger Zuckung die durch die Berührung der beiden Metalle entstandene Elektricität.

32. Wesen der Elektricität.

Zur Versinnlichung des Wesens der Elektricität bedient man sich in der Regel des Wassers, indem man das Gewicht des Wassers mit der Stromstärke, das Gefälle des Wassers *H*, Fig. 10, mit der Spannung, den Widerstand, welchen das Wasser in einer Rohrleitung *L* erfährt, mit dem Widerstande des elektrischen Stromes in Drähten vergleicht.

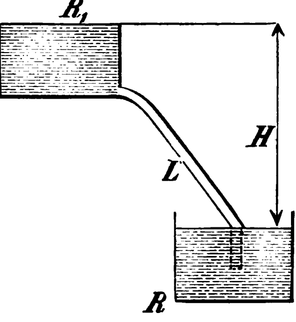


Fig. 10. Vergleich zwischen Elektricität und Wasser.

1. Vergleich zwischen dem Gewichte des Wassers und der Stromstärke.

Fließt durch eine Rohrleitung *L*, Fig. 10, viel Wasser, so muss dieselbe einen großen Querschnitt haben. Hat der Strom in einem Elektricitätsleiter eine hohe Stromstärke, so muss derselbe einen großen Querschnitt haben.

2. Vergleich zwischen dem Gefälle des Wassers und der Spannung (dem Gefälle des Stromes).

Nur wenn zwischen den Wasserspiegeln zweier Gefäße *R* und R_1 ein Gefälle z. B. *H*, Fig. 10, herrscht, fließt zwischen denselben Wasser.

Nur wenn zwischen zwei Punkten eines Elektricitätsleiters eine Spannungsdifferenz (elektrisches Gefälle) herrscht, fließt zwischen denselben Strom.

3. Vergleich zwischen dem Widerstande, den eine Rohrleitung dem Wasser und ein Elektricitätsleiter dem Strome entgegensetzen.

Je enger eine Rohrleitung ist, desto größer wird verhältnismäßig der Widerstand sein, welchen das Wasser in derselben zu überwinden

hat. Je kleiner der Querschnitt eines Elektricitätsleiters ist, desto höher stellt sich der Widerstand, den der elektrische Strom zu überwinden hat.

4. Vergleich zwischen den Leistungsfähigkeiten des Wassers und Stromes.

Je größer das Wassergewicht und das Gefälle sind, desto leistungsfähiger zeigt sich das Wasser. Je größer die Stromstärke und die Spannung sind, desto leistungfähiger ist der elektrische Strom.

Die neuesten wissenschaftlichen Forschungen über das Wesen der Elektricität (Michael Faraday, Hermann von Helmholtz, Clark Maxwell und Heinrich Hertz) haben mathematisch und versuchsweise dargethan, dass die Elektricität sowie das Licht eine Wellenbewegung eines angenommenen Stoffes, des sogenannten Lichtäthers, ist.

Nach Maxwell betragen die Geschwindigkeit der Elektricität und des Lichtes 300.000 Kilometer in der Sekunde.

II. Kapitel.

Maße.

33. Das Ohm, die Einheit des Widerstandes wird dargestellt durch den Widerstand, welchen ein beständiger elektrischer Strom durch eine Quecksilbersäule von 14·4521 Grammasse bei 0° C. einem gleichförmigen Querschnitte und einer Länge von 106·3 *cm* erfährt.

1 Ohm = dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 106·3 *cm* Länge, 1 mm^2 Querschnitt bei 0° C. = 1 Ω.

1 Ohm = dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 100 *cm* Länge, 1 mm^2 Querschnitt bei +70° C.

1 Ohm, = 1.063 S. E. (Siemens Einheiten).

1 legales Ohm = 1·06 S. E.

1 S. E. = dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 100 *cm* Länge, 1 mm^2 Querschnitt bei 0° C. = 0.94073 Ohm.

Unter dem specifischen Widerstande eines Drahtes versteht man den Widerstand des Drahtes bei 1 *m* Länge und 1 mm^2 Querschnitt.

Der specifische Widerstand eines Kupferdrahtes (also der Widerstand eines Kupferdrahtes von 1 *m* Länge und 1 mm^2 Querschnitt) = 0·016 Ohm. Zwischen Länge, Querschnitt und Widerstand von Kupferdrähten bestehen demnach folgende Beziehungen:

Länge $= 1\ m$, Querschnitt $= 1\ mm^2$, Widerstand $W = 0{\cdot}016$ Ohm,
„ $= 2$ „, „ $= 1$ „, „ $W = 0{\cdot}016 \times 2$,
„ $= 2$ „, „ $= 3$ „, „ $W = 0{\cdot}016 \times \frac{2}{3}$,
„ $= L$ „, „ $= q$ „, „ $W = 0{\cdot}016 \times \frac{L}{Q}$.

Es ergibt sich demnach für den Widerstand eines Kupferdrahtes die Formel:

$$W = 0{\cdot}016 . \frac{L}{Q}.$$

Charakteristisch für den Kupferdraht ist in dieser Formel der specifische Widerstand des Kupfers $= 0{\cdot}016$ Ohm. Für Eisen hat man deshalb anstatt $0{\cdot}016$ die Zahl $0{\cdot}1$, für Neusilber anstatt $0{\cdot}016$ die Zahl $0{\cdot}3$, also die besonderen Zahlen für das betreffende Material einzuführen. Soll die Formel allgemein, d. h. für alle Drahtmateriale giltig sein, so setzt man anstatt der besonderen Zahlen eine allgemeine Zahl (einen Buchstaben) z. B. C ein; dann erhält man den Widerstand W aus der Formel:

$W = C . \frac{L}{Q}$. Daraus ergeben sich für die Länge L die Formel:

$L = \frac{W . Q}{C}$, für den Querschnitt Q die Formel:

$Q = C . \frac{L}{W}$ oder nach der Konstanten (dem specifischen Widerstande) aufgelöst:

$C = \frac{W . Q}{L}$, in welchen Formeln

$W =$ Widerstand in Ohm,
$C =$ Widerstand eines Meters von $1\ mm^2$ Querschnitt,
$L =$ Länge in Metern und
$Q =$ Querschnitt in mm^2 bedeuten.

L muss in Metern, Q in mm^2 gegeben sein, weil der specifische Widerstand C in diesen Maßen gegeben ist. Aus den letzten Formeln folgt, dass der Widerstand eines Drahtes mit seiner Länge wächst und mit seinem Querschnitte abnimmt.

Beispiel: Wie groß ist der Widerstand W eines Drahtes aus Neusilber ($C = 0{\cdot}3$), von $100\ m$ Länge und $10\ mm^2$ Querschnitt?

$$W = 0{\cdot}3 . \frac{100}{10} = 3 \text{ Ohm}.$$

Beispiel: Welchen Widerstand hat ein Kupferdraht ($C = 0{\cdot}016$) von $200\ m$ Länge und $0{\cdot}19\ cm^2$ Querschnitt?

$$0{\cdot}19\ cm^2 = 19\ mm^2;\ W = 0{\cdot}016\ \frac{200}{19} = 0{\cdot}1684 \text{ Ohm}.$$

Beispiel: Wie groß ist die Länge eines Kupferdrahtes ($C = 0{\cdot}016$) dessen Querschnitt $= 3\ mm^2$ bei einem Widerstande $= 2$ Ohm beträgt?

$$L = \frac{W \,.\, Q}{C} = \frac{2 \,.\, 3}{0{\cdot}016} = 375\ m.$$

Beispiel: Ein Draht aus Neusilber ($C = 0{\cdot}3$) habe bei einer Länge von 50 m einen Widerstand von 4 Ohm; wie groß muss der Querschnitt dieses Drahtes sein?

$$Q = C\,\frac{L}{W} = 0{\cdot}3 \,.\, \frac{50}{4} = 3{\cdot}75\ mm^2.$$

Beispiel: Ein Kupferdraht sei 1000 m lang, habe einen Querschnitt von 7 mm^2 und einen Widerstand von 2 Ohm; wie groß ist der specifische Widerstand C dieses Drahtes?

$$C = \frac{W \,.\, Q}{L} = \frac{7 \,.\, 2}{1000} = 0{\cdot}014 \text{ Ohm}.$$

Sind die Drähte cylindrisch, dann ist $Q = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$, wenn r = Halbmesser, d = Durchmesser. Setzen wir diesen Wert für Q in die Formel $W = \frac{C \,.\, L}{Q}$ ein, dann wird $W = \frac{4}{\pi} \,.\, C \,.\, \frac{L}{d^2} = 1{\cdot}273 \,.\, \frac{CL}{d^2}$.

Beispiel: Wie groß ist der Widerstand eines Drahtes, wenn derselbe einen specifischen Widerstand C von $0{\cdot}3$, eine Länge L von 30 m und einen Durchmesser d von 3 mm besitzt?

$$W = 1{\cdot}273 \,.\, \frac{0{\cdot}3 \,.\, 30}{9} = 1{\cdot}273 \text{ Ohm}.$$

Aus der letzten Formel ergeben sich die weiteren:

$$C = 0{\cdot}7855 \,.\, \frac{W \,.\, d^2}{L}; \quad L = 0{\cdot}7855 \,.\, \frac{W \,.\, d^2}{C}; \quad d = \sqrt{\frac{1{\cdot}273 \,.\, C \,.\, L}{W}}.$$

Beispiel: Welchen Durchmesser hat ein Draht, dessen specifischer Widerstand $C = 0{\cdot}5$, dessen Länge $L = 200\ m$ und dessen Widerstand $W = 1{\cdot}273$ Ohm?

$$d = \sqrt{\frac{1{\cdot}273 \,.\, 0{\cdot}5 \,.\, 200}{1{\cdot}273}} = \sqrt{100} = 10.$$

Der reciproke Wert des specifischen Widerstandes also der Wert $\frac{1}{C}$, heißt Leitungsvermögen oder Leitungsfähigkeit.

1 Megohm = 1000.000 Ohm $= 10^6$ Ohm,

1 Mikrohm $= \frac{1}{1000.000}$ Ohm $= \frac{1}{10^6}$ Ohm $= 10^{-6}$ Ohm.

Die Widerstände wurden zuerst nach Werner von Siemens als sogenannte Widerstandskasten (Stöpselrheostate), Fig. 11 und 12, ausgeführt. Fig. 11 stellt einen Widerstandskasten in äußerer Ansicht, Fig. 12 mit aufgehobenem Deckel dar. Auf der Innenfläche des Deckels sind die Widerstände in Form von Drahtrollen r, Fig. 12, befestigt. Diese Widerstände bestehen zumeist aus isolierten Manganindrähten. Die Enden der Drahtrollen r, Fig. 12, sind an die Messing-

klötzchen m_1 und m_2 u. s. w., Fig. 11, angeschlossen. Je zwei Messingklötzchen, z. B. m_1 und m_2, Fig. 11, sind von einander durch einen Luftzwischenraum getrennt, welcher durch die Stöpsel s überbrückt wird. Die Stöpsel s sind in die Öffnungen (Bohrungen) zwischen den Klötzchen m_1, m_2 u. s. w. wohl eingepasst. An den Klemmen k_1 und k_2 wird der Kasten in einen beliebigen Stromkreis eingeschaltet. Sind sämmtliche Stöpsel eingesetzt, dann fließt der Strom von der einen Klemme z. B. k_1 nach der Klemme k_2 durch die Messingklötzchen und Kontakte der Stöpsel. Man sagt in diesem

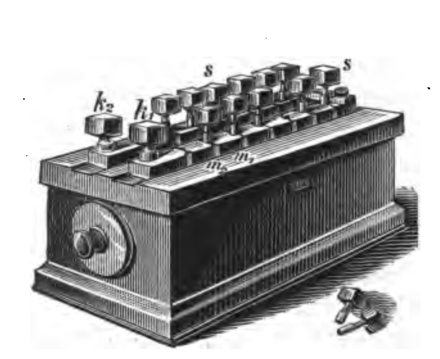


Fig. 11. **Widerstandskasten, äußere Ansicht.**



Fig. 12. **Widerstandskasten, innere Ansicht.**

Falle, der Widerstandskasten ist kurz geschlossen, weil jetzt nur der zu vernachlässigende geringe Widerstand der Messingklötzchen eingeschaltet erscheint. Zieht man irgend einen Stöpsel, so schaltet man dadurch den an die betreffenden Klötzchen angeschlossenen Widerstand ein. In der Regel sind zwischen den einzelnen Klötzchen die Widerstände von 0·1, 0·2, 0·2, 0·5, 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20 und 50 Ohm angeschlossen, so dass man durch das Herausziehen der entsprechenden Stöpsel die Widerstände von 0·1 bis 111 Ohm zur Verfügung hat. Solche Widerstandskasten werden bis zu 10000 und mehr Ohm ausgeführt.

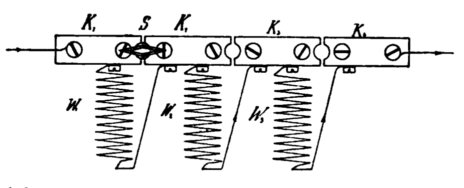


Fig. 13a. **Schaltung eines Widerstandskastens.**

Fig. 13a stellt die S c h a l t u n g e i n e s W i d e r s t a n d s k a s t e n s dar. Die Widerstände W_1, W_2 und W_3 sind an die Metall-Kontakte K_1 K_2, K_2 K_3 und K_3 K_4 angeschlossen. Befindet sich der Stöpsel S, sowie es Fig. 13a anzeigt, zwischen K_1 und K_2, so tritt der Strom bei der Klemme K_1 ein, geht durch den Stöpsel S direkt auf den Kontakt K_2

über, ohne den Widerstand W_1 zu durchfließen, nimmt die Widerstände W_2 und W_3 und verlässt bei K_4 den Kasten. Die Widerstände sind zumeist **bifilar** (zweifädig), Fig. 13 b, gewickelt. Ein Widerstand ist dann bifilar auf die Spule gerollt, wenn nicht in Spiralen mit dem einfachen Drahte, Fig. 13a, in derselben Richtung weitergewickelt wurde, sondern wenn man den Draht seiner ganzen Länge nach, Fig. 13 b, in der Mitte knickt und den nun doppelten Draht auf die Spule rollt. Eine so gewickelte Rolle übt auch auf eine Magnetnadel keine Wirkung aus, weil immer Ströme entgegengesetzter Richtung nebeneinander fließen, welche sich demnach in allen Wirkungen überhaupt gegenseitig aufheben.

Fig. 13 b. Bifilare Wickelung.

Diese Widerstandskästen finden insbesondere für schwache Ströme Verwendung.

Für starke Ströme verwendet man Widerstände aus Nickel, Neusilber (Argentan, Blanka, Nickelin), Rheotan, Manganin, Thermotan, Konstantan, Kupfer und Eisen in Form von Drähten, Bändern oder Geweben.

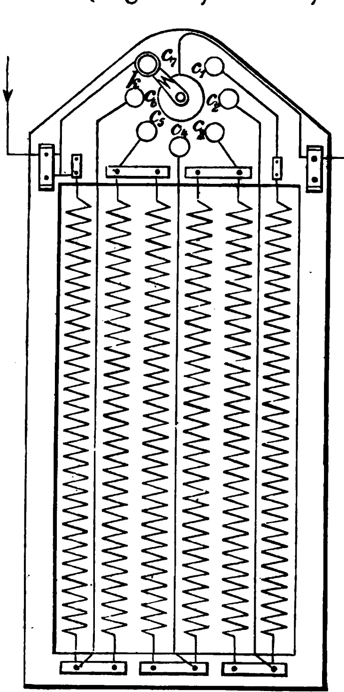


Fig. 14. Starkstrom-Rheostat.

Siemens & Halske stellen sogenannte Drahtsiebwiderstände (netzartige Gewebe aus Metallfäden) her. Die Drähte werden auf einem Dorn zu gleich langen Spiralen gewunden und auf einem eisernen Gestelle isoliert aufmontiert. Die Spiralen (Rollen, Locken) sind entweder einzeln oder in Gruppen hintereinander geschaltet. Von bestimmten Stellen der hintereinander geschalteten Spiralen, Fig. 14, führen Verbindungen (gewöhnlich isolierte Kupferdrähte) zu den Kontaktstücken c_1 bis c_7, auf welchen die durch eine starke Feder niedergedrückte Kurbel (der Hebel) k schleift. Hat der Hebel die Stellung c_1, so ist der ganze Widerstand eingeschaltet, während bei der in Fig. 14 wiedergegebenen Stellung c_7 des Hebels k der Widerstands-Regulator kurzgeschlossen erscheint. Zwischen diesen beiden Stellungen sind die verschiedenen Widerstände eingeschaltet und zwar so, dass der Widerstand von c_1 aus in der Richtung der Uhrzeigerbewegung immer kleiner wird.

34. Das Ampère, die Einheit der Stromstärke, ist praktisch durch denjenigen unveränderlichen Strom dargestellt, welcher durch eine wässerige Silber-Nitratlösung fließend, aus derselben 0·001118 *g* Silber in der Sekunde niederschlägt.

1 Ampère = 1 *A*.

1 Ampère in der Sekunde = 1 Coulomb = 1 *Cb*.

1 „ „ „ Minute = 60 „ .

1 „ „ „ Stunde = 60.60 = 3600 Coulomb.

Das Coulomb ist die Einheit der Elektricitätsmenge.

1 Megampère = 1000.000 Ampère.

1 Mikroampère = $\frac{1}{1000000}$ Ampère,

1 Megacoulomb = 1000000 Coulomb.

1 Mikrocoulomb = $\frac{1}{1000000}$ Coulomb.

1 Ampère entwickelt in einer Sekunde, auf 0° C und 760 *mm* Barometerstand umgerechnet, 0·174 cm^3 Knallgas.

1 Ampère zersetzt oder fällt aus: [1])

Elektrolyt	*mg* in der Sekunde	*mg* in der Minute	*mg* in der Stunde
Wasser	0·093	5·58	334·8
Nickel	0·305	18·30	1099
Kupfer	0·3281	19·686	1181·16
Zink	0·3371	20·22	1213·2
Gold	0·678	40·68	2441
Silber (F. u. W. Kohlrausch)	1·1183	67·08	4024·8

Die Zahlen der 1. Kolonne (*mg* in der Sekunde) nennt man die elektrochemischen Äquivalente in *mg* für 1 *Cb*.

35. Das Volt, die Einheit der elektromotorischen Kraft, ist gleich der Kraft, welche beständig auf einen Leiter, dessen Widerstand = 1 Ohm wirkend, einen Strom von 1 Ampère erzeugt.

1 Volt ist praktisch als $\frac{1000}{1434}$

der elektromotorischen Kraft zwischen den Elektroden eines Clark Elementes, bei einer Temperatur von + 15° C. dargestellt.

[1]) Die Zahlen gelten nur für bestimmte Proben.

Das Volt, die Einheit der Spannung (Gefälle, Spannungsdifferenz, Potential, Potentialdifferenz, elektromotorische Kraft) ist weiters annähernd gleich der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Elementes.

1 legales Volt = 0·9972 richtige Volt.

1 Daniell = 1 Volt = 1 *V*,

1 Bunsen, 1 Grove mit Salpetersäure	= 1·7 Daniell	= 1·9	*V*,
„ mit Chromsäure	= 1·8 „	= 2·0	„
1 Meidinger	= 0·9 „	= 1·0	„
1 Leclanché, Stöhrer oder Smee	= 1·2 „	= 1·3	„
1 Latimer Clark	= 1·27 „	= 1·434	„

Als Beispiele hoher Spannungen seien die Versuchsresultate von Warren de la Rue und Hugo W. Müller bei Funkenentladungen angeführt.

Zur Bildung eines Schließungs-Funkens von 0·5 *cm* Länge
zwischen 2 parabolischen Spitzen sind 5000 Volt,
zwischen 1 parabolischen Spitze und 1 Platte 6000 Volt,
zwischen 2 Platten 15000 Volt erforderlich.

Aus diesen Resultaten folgt, dass bei den kilometerlangen atmosphärischen Funkenentladungen Spannungen von Tausenden von Millionen Volt zum Ausgleiche kommen.

1 Megavolt = 1000000 Volt,

1 Mikrovolt $= \frac{1}{1000000}$ Volt.

36. Das Ohm'sche Gesetz.

Das Ohm'sche Gesetz ist das wichtigste Grundgesetz der Elektrotechnik. In seiner einfachsten Form lässt sich dieses Gesetz wie folgt aussprechen:

In jedem geschlossenen Stromkreise ist die Stromstärke $= \frac{\text{Spannung.}}{\text{Widerstand.}}$

Bezeichnet man die Stromstärke mit dem Buchstaben *J*, die Spannung mit dem Buchstaben *E*, den Widerstand mit dem Buchstaben *W*, so erhält die obige Gleichung die Form:

$$J = \frac{E}{W}, \text{ Form I.}$$

Schaltet man in einen Stromkreis verschiedene Stromstärken, Spannungen und Widerstände ein, so gilt immer die Gleichung $J = \frac{E}{W}$

In der folgenden Tabelle sind durch solche Versuche ermittelte zusammen gehörige Werte von *J*, *E* und *W* angegeben.

Tabelle.

J	E	W	$J = \frac{E}{W}$
2	60	30	$2 = \frac{60}{30}$
3	60	20	$3 = \frac{60}{20}$
5	60	12	$5 = \frac{60}{12}$
2	100	50	$2 = \frac{100}{50}$
4	100	25	$4 = \frac{100}{25}$
20	200	10	$20 = \frac{200}{10}$

Wie man aus der Tabelle ersieht, befriedigen sämmtliche zusammengehörige, durch Versuche ermittelte Werte von J, E und W das Ohm'sche Gesetz:

$$J = \frac{E}{W}.$$

Sind demnach zwei von den drei Größen J, E und W gegeben, so kann man die dritte aus dem Ohm'schen Gesetze berechnen.

Beispiel: Wie groß ist die Stromstärke in dem geschlossenen Stromkreise $P_1 M P_3 P_4 N P_2$, Fig. 15, wenn die Spannung an den Klemmen der Stromquelle (in diesem Falle 6 Accumulatoren) 12 Volt und der im Rheostate eingeschaltete Widerstand 3 Ohm betragen?

Setzt man die gegebenen Werte in die Form I des Ohm'schen Gesetzes ein, so erhält man:

$$J = \frac{12}{3} = 4 \text{ Ampère}.$$

Ist noch ein zweiter Widerstand, z. B. 1 Ohm, in dem Stromkreise vorhanden, so beträgt der gesammte Widerstand 3 + 1 = 4 Ohm und

$$J = \frac{12}{3+1} = \frac{12}{4} = 3 \text{ Ampère, d. h.:}$$

Wenn der Stromkreis aus mehreren Theilen besteht, so ist die

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Summe der Widerstände}}.$$

In letzterem Beispiele wurden als Stromquelle 6 Accumulatoren in Hintereinanderschaltung zu je 2 Volt = 12 Volt vorausgesetzt. Es ist nun gleichgiltig, wie die Accumulatoren vertheilt sind, d. h. an welcher Stelle oder an welchen Stellen des Leitungsnetzes dieselben eingeschaltet werden.

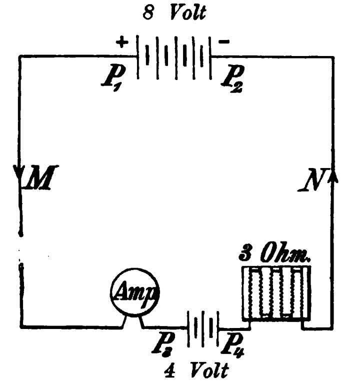


Fig. 15. Beispiel zum Ohm'schen Gesetze.

In Fig. 15 sind die Accumulatoren in Gruppen an verschiedenen Stellen des Stromkreises angeordnet.

Beispiel: Wie groß ist die Stromstärke unter den in der Fig. 15 gegebenen Verhältnissen:

1. Ohne Berücksichtigung des Widerstandes des Verbindungsdrahtes?

$$J = \frac{8 + 4}{3} = 4 \text{ Ampère, d. h.:}$$

Enthält der Stromkreis mehrere elektromotorische Kräfte, so ist die Stromstärke =

$$\frac{\text{Summe d. Spannungen}}{\text{Widerstand}}.$$

2. Mit Berücksichtigung des Widerstandes des Verbindungsdrahtes? Dieser Widerstand sei ein 1 Ohm.

$$J = \frac{8 + 4}{3 + 1} = 3 \text{ Ampère, d. h.:}$$

Enthält der Stromkreis mehrere elektromotoriche Kräfte, und besteht derselbe aus mehreren Theilen, so ist die

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Summe d. Spannungen}}{\text{Summe d. Widerstände}},$$

allgemeine Form des Ohm'schen Gesetzes.

Aus der I. Form des Ohm'schen Gesetzes:

$$J = \frac{E}{W}$$

ergibt sich, wenn man beiderseits des Gleichheitszeichens mit W multipliciert:

$$J\ W = E \text{ oder}$$
$$E = J . W, \text{ Form. II.}$$

Beispiel: Mit welcher Spannung leuchtet eine Glühlampe, wenn ihr Stromverbrauch 0·5 Ampère und ihr Widerstand bei dieser Stromstärke = 200 Ohm betragen?

$$E = J . W = 0{\cdot}5 . 200 = 100 \text{ Volt.}$$

Beispiel: Wie groß ist der Spannungsverlust in einer Leitung mit dem Widerstande von 0·5 Ohm, wenn durch die Leitung 10 Ampère fließen?

$$E = J . W = 0{\cdot}5 . 10 = 5 \text{ Volt.}$$

Beispiel: Der Vorschaltwiderstand einer Bogenlampe für 10 Ampère messe 1 Ohm. Wie viel Volt werden durch diesen Widerstand getilgt?

$$E = J . W = 10.1 = 10 \text{ Volt.}$$

Die II. Form des Ohm'schen Gesetzes: $E = J . W$ übergeht durch J dividiert in:

$$W = \frac{E}{J}, \text{ Form III.}$$

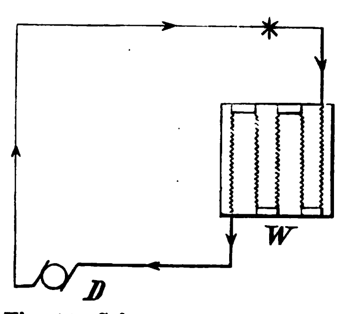


Fig. 16. Schema zur Berechnung eines Vorschaltwiderstandes W.

Beispiel: Wie groß muss der einer Bogenlampe vorgeschaltete Widerstand W sein, wenn letztere bei 10 Ampère auf 45 Volt einreguliert ist, und die Klemmenspannung der Dynamomaschine D, Fig. 16, 60 Volt beträgt?

In diesem Falle müssen 60—45 = 15 Volt durch den Vorschaltwiderstand verbraucht werden.

$$W = \frac{15}{10} = 1 \cdot 5 \text{ Ohm}.$$

Beispiel: Die Spannung an den Klemmen einer Dynamomaschine betrage 100 Volt. Es ist der Widerstand eines an diese Klemmen einzuschaltenden Leitungsnetzes zu berechnen, durch welches 20 Ampère fließen sollen.

$$W = \frac{100}{20} = 5 \text{ Ohm}.$$

Die Messung von Widerstand, Stromstärke und Spannung erfolgt durch später (§ 41) zu besprechende Messinstrumente. Der praktische Elektrotechniker ist jedoch in der Lage, diese drei Größen annäherungsweise durch Auge und Gefühl zu schätzen. Aus Stärke, ungefährer Länge und Material des Drahtes schließt man auf den Widerstand. Durch Übung kommt man bald in die Lage, aus dem Grade der Erwärmung eines Leiters die Stromstärke zu bestimmen. Bei Temperaturen bis 60° C kann man den Leiter mit der Hand fest anfassen, über 60° darf man den Leiter nur mehr augenblicklich berühren, über 200° berührt man den Leiter beispielsweise mit einem Stück Papier und schließt aus dem Sengen desselben auf die Stromstärke. Ähnlich gibt der jeweilige Glühzustand eines Leiters über die Stromstärke Aufschluss. An einer Glühlampe zu 100 Volt kann man in der Nähe dieser Spannung Unterschiede der Spannung bis zu 1 Volt herab mit dem Auge beobachten. Eine solche Lampe beginnt bei rund 35 Volt dunkelroth zu glühen. Ebenso schätzt man die Spannung nach den physiologischen Wirkungen (§ 24) des Stromes. Schaltet man sich in einen Stromkreis ein, so werden die Erschütterungen der Muskeln und Nerven umso größer sein, je höher die Spannung ist. Bei solchen Versuchen muss man besonders darauf achten, dass Spannungen über 100 Volt gefährlich sind, und dass man sich nie in einen Strom einschalten darf, dessen größtmögliche Spannung man nicht kennt.

37. Das Farad.

Das Farad ist das Verhältnis der Elektricitätsmenge zur Spannung, d. h.:

$$1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}},$$

$$1 \text{ Megafarad} = 1000000 \text{ Farad}, = 10^6 \text{ Farad},$$

$$1 \text{ Mikrofarad} = \frac{1}{1000000} \text{ Farad}, = \frac{1}{10^6} \text{ Farad}.$$

Beispiel: Es ist die Kapacität eines Leiters in Farad zu berechnen, welcher bei 10 Volt Spannung die Elektricitätsmenge 0·1 Coulomb aufnimmt?

$$\text{Farad} = \frac{0 \cdot 1}{10} = 0 \cdot 01.$$

38. Arbeit, Effekt (Leistung).

Elekt. Arbeit = Stromstärke × elektromot. Kraft × Zeit.

Die technische Einheit der elektrischen Arbeit ist:

1 Sekunden-Volt-Ampère = 1 Volt-Coulomb = 1 Joule $= \frac{1}{9\cdot81} mkg$ $= 0\cdot102\ mkg$.

Elekt. Effekt = Stromstärke × elektromotorische Kraft.

Die technische Einheit des elektrischen Effektes ist:

1 Voltampère = 1 Watt.

1 englische Pferdekraft = *HP* (horsepower) . = 746 Watt,
1 metrische Pferdekraft = *PS* (Pferdestärke) = 736 Watt.
1 Kilowatt . . . . = 1000 Watt.

Beispiel: Eine Dynamo gibt 100 *V* bei 368 *A*; wie viel *PS* entsprechen dieser Leistung?

$$\frac{100.368}{736} = 50\ PS.$$

III. Kapitel.

Gesetze sammt Anwendungen.

39. Sinus- und Tangens-Gesetz.

Fig. 17 stellt ein rechtwinkeliges Dreieck dar. Der ∢ *b* beträgt somit als rechter ∢ 90°. Zur Berechnung der Dreiecke benützt man die Verhältnisse der Seiten. Das Verhältnis $\frac{bc}{ac}$ im rechtwinkeligen Dreiecke nennt man sinus (sin) des ∢ *a* und schreibt: $\sin a = \frac{bc}{ac}$.

Beispiel: Mit Berücksichtigung der Angaben in Fig. 17. ist der sinus des Winkels $a = 45°$ zu berechnen.

$$\sin a = \frac{bc}{ac} = \frac{40}{56\cdot54} = 0\cdot707.$$

Fig. 17. Rechtwinkeliges Dreieck.

Ähnlich bezeichnet das Verhältnis $\frac{ab}{ac}$ = cosinus (cos) *a*,

" " $\frac{bc}{ab}$ = tangens (tg) *a* und

" " $\frac{ab}{bc}$ = cotangens (cot) *a*.

Beispiel: Man berechne den Wert des tangens des ∢ $a = 45°$.

$$\text{tg}\ a = \frac{bc}{ab} = \frac{40}{40} = 1.$$

In Fig. 17 ist der ∢ $a = 45°$. Ebenso kann man sich rechtwinkelige Dreiecke mit anderen ∢ gezeichnet denken. Misst man in solchen Dreiecken mit einem Maß-

stabe die Längen der Seiten ab, so kann man die obigen Verhältnisse (trigonometrische Funktionen) sin, cos, tg, und cot finden.

Beispiel: Wie verhält sich in einem rechtwinkeligen Dreiecke die dem Winkel $\alpha = 72^0$ gegenüberliegende Seite (Kathete) zu der anliegenden?

Konstruiert man ein rechtwinkeliges Dreieck mit dem Winkel $\alpha = 72^0$, misst die dem ∢ α gegenüberliegende und anliegende Kathete in *mm* oder *cm* u. s. w. ab und dividiert sie durcheinander, so findet man rund 3, d. h.:

$$\text{tg } 72^0 = 3.$$

Dabei ist es gleichgiltig, wie lang man die Seiten zeichnet, da bei allen rechtwinkeligen Dreiecken mit dem ∢ von 72° das Verhältnis der Seiten immer dasselbe ist. Die Werte für die trigonometrischen Funktionen kann man auch aus Tabellen entnehmen.

In Fig. 18. stellt $H_1\ H_2$ die Verbindungslinie des magnetischen Nord- und Südpoles der Erde (Magnetische Achse) dar. Eine durch die magnetische Achse senkrecht gelegte Ebene nennt man magnetischen Meridian. Befindet sich z. B. ein vom Strome I durchflossener Ringleiter in dem magnetischen Meridiane (in Fig. 18 nicht ersichtlich) und sei im Mittelpunkte O dieses Ringes eine Magnetnadel frei beweglich aufgehängt, so wird dieselbe aus der magnetischen Achse um einen ∢ α abgelenkt. Auf den Magnetpol A wirkt der Strom, dessen Ebene in $H_1\ H_2$ auf der Zeichnungsebene senkrecht steht, in der Richtung $A\ C$ und der Erdmagnetismus (die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus) in der Richtung $A\ B$, also parallel zu $H_1\ H_2$. Die Komponente $A\ C$ ist der Stromstärke proportional, d. h. sie wächst und fällt im Verhältnisse der Stromstärke oder $A\ C_1 = C_1\ J$. Die Komponente $A\ B$ zeigt Proportionalität mit der Horizontal-Komponente des Erdmagnetismus oder

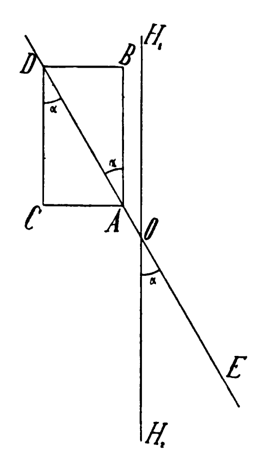


Fig. 18. Tangens-Gesetz.

$$A\ B = C_2\ H.$$

C_1 und C_2 bedeuten Konstante (Proportionalitätsfaktoren). Aus der Fig. 18 folgt:

$$\text{tg } \alpha = \frac{A\ C}{D\ C} = \frac{A\ C}{A B} = \frac{C_1\ J}{C_2\ H}$$

In dieser Formel sind C_1 und C_2 sowie die Horizontal-Komponente H Konstante, man kann deshalb für $\frac{C_1}{C_2}\ H$ eine neue Konstante $\frac{1}{C}$ einführen, dann erhält die letzte Gleichung die Form

$$\text{tg } \alpha = \frac{J}{C} \text{ oder}$$

$$J = C \text{ tg } \alpha.$$

Diese Gleichung nennt man das Tangens-Gesetz.

Dreht man Fig. 19 (unter den Bedingungen der Fig. 18), der abgelenkten Nadel den Ring (eine oder mehrere kreisförmige Windungen) solange nach, bis man die Nadel eingeholt hat, dann wird

Fig. 19. Sinus-Gesetz.

$$\sin\alpha = \frac{AC}{CD} = \frac{AC}{AB} = \frac{C_1 J}{C_2 H}$$ und wenn wir für die Konstante $\frac{C_1}{C_2} H = \frac{1}{C}$ setzen:

$$\sin\alpha = \frac{J}{C}$$ oder

$$J = C \sin\alpha.$$

Die letzte Gleichung heißt Sinus-Gesetz.

40. Biot-Savart'sches Gesetz. Dieses Gesetz gestattet eine rechnerische Behandlung der Wechselwirkungen zwischen Strömen und Magneten. Denkt man sich ein Leiterelement L von einem Strom von der Stärke J durchflossen, so wird derselbe auf einen Magnetpol von der Stärke M eine abstoßende Kraft P ausüben, so zwar, dass:

$$P = \frac{M J L \sin\delta}{R^2} p.$$

In dieser Formel bezeichnet R den Abstand zwischen L und M, δ den $\sphericalangle$, welchen R mit L einschließt und p die Wirkung, welche bei einem $\sphericalangle\ \delta = 90^0$ stattfindet, wenn alle Größen als Einheiten eingesetzt werden.

Es erscheint wohl klar, dass je größer die Stormstärke J und die Stärke des Poles M sind, desto größer auch die abstoßende Kraft P sein muss. Dass die Kraft P mit R^2 verkehrt proportional ist, wurde durch Versuche nachgewiesen. Die Proportionalität von P mit L und $\sin\delta$ hat eine Überlegung und Zerlegung des Stromelementes L in zwei Stromelemente ergeben.

41. Tangentenbussole (Pouillet 1837, Poggendorf 1840, W. Weber 1848, Gaugain 1853). Genanntes Instrument besteht aus einem Draht-Ringe, in dessen Mittelpunkte oder außerhalb desselben sich eine Magnetnadel befindet. Die Tangentenbussole beruht auf dem Tangens-Gesetze (§ 39). Die Konstante C nennt man Reduktionsfaktor; derselbe hat für jede Bussole einen anderen Wert.

Josef Kessler[1]) hat im Jahre 1886 eine Tangentenbussole, Fig. 20a und 20b konstruiert,[2]) für welche der Reduktionsfaktor eine

[1]) Josef Kessler, Zur Messung des elektrischen Stromes, 1887.

[2]) Diese Tangentenbussole bauen Czeija, Nissl & Co. in Wien.

Potenz von 10 ist. Eine drehbare Säule trägt ein Dreifuß. Auf der Säule ist eine kupferne Hülse und das Gehäuse für den Messingzeiger sammt der Theilung aufmontiert. Der Messingzeiger erscheint über einem Glockenmagnete befestigt und hängt sammt diesem und einem Spiegel an einem Coconfaden. Die kupferne Hülse hemmt die Schwingungen des in ihrem Hohlraume hängenden Glockenmagnetes, weil durch die Schwingungen im Kupfer Ströme erzeugt werden, welche die Bewegungen hemmen (dämpfen) und so ein rasches und sicheres Ablesen ermöglichen. Durch die Säule führt eine in der Figur ersichtliche kräftige Schraube, welche einen Schlitten mit einer Theilung und an diesem aufgeschraubt den Ring mit den Windungen trägt. Zwischen zwei Füßen des Instrumentes befindet sich eine Wasserwage (Libelle), welche zur senkrechten Einstellung des Instrumentes dient. Schlitten sammt Ring sind demnach gegen die Bussole durch die obige Schraube verstellbar eingerichtet. Der Schlitten hat eine Millimetertheilung. Der Ring besitzt folgende Abmessungen in *mm*: Innerer Ringdurchmesser 159 *mm*, äußerer Ringdurchmesser 221 *mm*, Breite 20 *mm*, Wickelungshöhe 15 *mm* und in einer Lage 23 Windungen. Der Ring besteht aus einer Hartgummispule. Auf dieser Spule sind zweierlei Windungen aufgewickelt:



Fig. 20b.
Glockenmagnet.

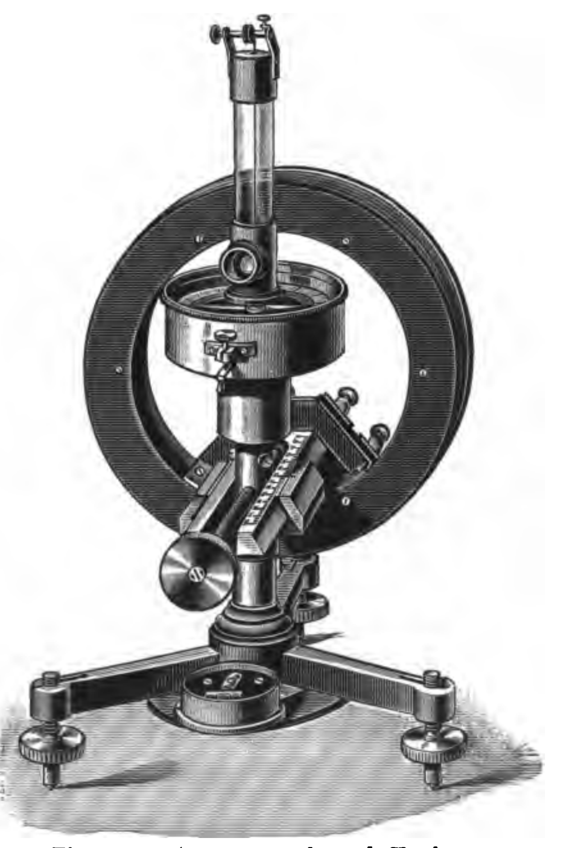


Fig. 20 a. Tangentenbussole nach Kessler.

1. Die dünnen Windungen bestehen aus 500 Windungen isolierten Kupferdrahtes von 0·3 *mm* Durchmesser und 340 *m* Gesammtlänge, welche

70 Ohm Widerstand besitzen. Um nun die für die Voltmessung erforderlichen 100 Ohm genau zu erreichen, wird an die 500 Windungen zum Schlusse noch ein entsprechender Zusatzwiderstand in Manganin bifilar (§ 33) angeschlossen.

2. Die 5 dicken Windungen aus Kupferdraht von 2 *mm* Durchmesser haben rund 0·02 (genauer 0·017 Ohm).

Der Ring wird in den magnetischen Meridian eingestellt. Der Messingzeiger zeigt auf zwei koncentrische Theilungen. Befindet sich die Nadel in der Nord-Süd-Richtung, also parallel zur Ebene des Ringes (Nullstellung), dann zeigt die Nadel mit den beiden Spitzen auf die beiden Nullpunkte der äußeren Theilung. Der Kreis dieser Theilung ist von beiden Nullpunkten aus nach beiden Richtungen hin in 90° getheilt. Steht demnach die Nadel senkrecht auf ihrer Nullstellung, also senkrecht auf die Ringebene, dann zeigen die Spitzen der Nadel auf 90°. Neben dieser äußeren Theilung besteht eine zweite, innere, welche die 10-fachen Werte der Tangenten zu den zugehörigen Winkeln der äußeren Theilung direkt abzulesen gestattet. Die Arretierungsvorrichtung der Magnetnadel ist im Bilde ersichtlich. Dieselbe besteht aus einer Gabel, welche durch eine Schraube gehoben und gegen den Körper des Instrumentes gedrückt werden kann. Im Bilde sind rückwärts zwei gleich starke Klemmen zu sehen. Zwei schwächere Klemmen befinden sich (im Bilde nicht ersichtlich) von der Mittellinie der Figur aus symmetrisch zu den ersten. Die beiden starken Klemmen gehören zu den 5 dicken Windungen (Strommessungen), die beiden schwachen zu den 500 dünnen Windungen (Spannungsmessungen). Die Ablesungen können auf den Theilungen oder mittelst des Spiegels erfolgen. Zunächst soll nur die Messung bei Ablesung auf der Theilung beschrieben werden.

1. Strommessung. Man schaltet die 5 dicken Windungen bei den 2 dicken Klemmen ein; dann ist die Stromstärke 1 Ampère, wenn die Nadel 45° ausschlägt. Die Formel für die Tangentenbussole (§ 39) lautet allgemein

$$J = C \operatorname{tg} \alpha.$$

Bei Kessler ist $C = 1$, also $J = \operatorname{tg} \alpha$ und für 45°, $J = \operatorname{tg} \alpha = 1$. Die Werte der Tangenten geben demnach jetzt die jeweiligen Stromstärken an. Die Grenzen sämmtlicher Messungen mit Tangentenbussolen bewegen sich etwa zwischen 6 und 72°. Unter 6° kann man nicht gut ablesen, über 72° ist die Beobachtung unzuverlässlig. Schaltet man den dicken Windungen ihren eigenen Widerstand parallel, dann muss man die Angaben mit zwei multiplicieren. Schaltet man dieser neuen Anordnung nochmals den eigenen Widerstand parallel, dann muß man die Angaben wieder mit 2 multiplicieren u. s. w.

Bei den dicken Windungen geben 6° rund 0·1 Ampère, denn tg $6^\circ = 0·10510$.
„ „ „ „ „ 45° genau 1 „ , „ tg $45^\circ = 1$.
„ „ „ „ „ 72° rund 3 „ , „ tg $72^\circ = 3·07768$.

Die Grenzen der Messung mit den dicken Windungen sind deshalb ohne Nebenschlüsse rund 0·1 bis 3 Ampère.

2. Spannungsmessung. Schaltet man bei den dünnen Klemmen ein (500 Windungen), dann ist die Klemmen-Spannung 1 Volt, wenn der Ausschlag der Nadel 45° beträgt. Diese Windungen haben 100 Ohm, daher muss die Stromstärke J bei 1 Volt: $J = \frac{E}{W} = \frac{1}{100} = 0·01$ Ampère sein.

Schaltet man der 100 Ohm-Wickelung 900 Ohm vor, dann ist der gesammte Widerstand 1000 Ohm und jetzt gelten die Theile der Tangententheilung (innere Theilung) als Volt, denn jetzt ist der Widerstand 10 mal so groß als früher, es muss demnach auch die Spannung 10 mal so groß oder 10 Volt sein, denn

$$J = \frac{E}{W} = \frac{10}{1000} = 0·01 \text{ Ampère wie oben.}$$

Schaltet man der 100 Ohm-Wickelung 9900 Ohm vor, dann ist der gesammte Widerstand 10.000 Ohm, und man muss die Theile der Tangenten-Theilung mit 10 multiplicieren. Es beträgt jetzt die Spannung 100 Volt; wenn der Ausschlag an der Grad-Theilung (äußere Theilung) 45° und die Ablesung an der Tangenten-Theilung (innere Theilung) = 10 ist.

Bei den dünnen Windungen geben:
6° rund 0·1 Volt, denn tg $6^\circ = 0·10510$,
45° genau 1 Volt, denn tg $45^\circ = 1$,
72° rund 3 Volt, denn tg $72^\circ = 3·07768$.

Die Grenzen der Messung mit den dünnen Windungen sind deshalb ohne Vorschaltwiderstände rund 0·1 Volt bis 3 Volt.

Die Ablesung muss immer an beiden Spitzen des Zeigers erfolgen. Bei jeder Messung sind die Stromrichtungen an den Klemmen zu wechseln und aus den beiden Ablesungen das Mittel zu nehmen, d. h. es sind die beiden Ablesungen an den beiden Spitzen zu addieren und durch zwei zu dividieren.[1]) Ist der Coconfaden gedrillt (verdreht oder tordiert), dann gibt das Instrument bei verschiedenen Stromrichtungen verschiedene Ablesungen, und es muss der Coconfaden, beziehungsweise der Magnet, welcher an dem Faden hängt, so lange mittelst eines fremden Magneten gedreht werden, bis die Drehung (Torsion) aufgehoben erscheint.

[1]) Die Ablesung an beiden Spitzen und der Stromrichtungswechsel sind wegen der Parallaxe erforderlich, welche immer dann vorhanden ist, wenn die Verlängerung des Aufhängefadens nicht durch den Mittelpunkt der Kreistheilungen geht.

Beispiel einer Messung: Wie groß sind Stromstärke, Spannung und Widerstand eines Daniell'schen Elementes von 12 *cm* Höhe?

Schaltet man das Element in die dünnen Windungen ein, dann ist $\alpha = 47^0$. Die Stromstärke $a = 0{\cdot}01 \operatorname{tg} 47$, $\operatorname{tg} 47 = 1{\cdot}07237$, $a = 0{\cdot}01.\ 1{\cdot}07237$ Ampère.

Die elektromotorische Kraft des Elementes E = Stromstärke $\times$ Gesammtwiderstand. a = Stromstärke, W_i = Widerstand des Elementes, 100 Ohm = Widerstand der dünnen Windungen. Daher:

$$E = a\,(W_i + 100) = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{100}\,(W_i + 100)\ .\ .\ .\ I.$$

Jetzt schaltet man das Element in die dicken Windungen ein. Der Ausschlag sei $\beta = 27^0$, $\operatorname{tg}\beta = 0{\cdot}51$, $A = 1.\ \operatorname{tg}\beta = 0{\cdot}51$ Ampère. Bei dieser Messung waren nur die 5 dicken Windungen in die Leitung eingeschaltet, deren Widerstand man gegen W_i vernachlässigen kann. Das Element erscheint demnach nahezu kurzgeschlossen, und es ist die elektromotorische Kraft

$$E = A\,W_i = \operatorname{tg}\beta\ W_i\ .\ .\ .\ II.$$

Aus den Gleichungen I u. II können E u. W_i nach den Regeln der Auflösung zweier Gleichungen ersten Grades mit zwei Unbekannten berechnet werden. Aus Gleichung II ist $W_i = \frac{E}{A}$. Setzen wir diesen Wert in die Gleichung I ein, so erhält dieselbe die Form $E = a\left(100 + \frac{E}{A}\right) = a.\ 100 + \frac{a\,E}{A}$, $E\left(1 - \frac{a}{A}\right) = a.\ 100$,

$$E = \frac{a\,.\,100}{1 - \frac{a}{A}} = a.\ 100\ \left[1 + \frac{a}{A} + \left(\frac{a}{A}\right)^2 + \ .\ .\ .\right];\ E = \operatorname{tg}\alpha\left[1 + \frac{\operatorname{tg}\alpha}{100\,\operatorname{tg}\beta} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\operatorname{tg}\alpha}{100\,\operatorname{tg}\beta}\right)^2 + \ .\ .\ .\right].$$

In unserem Falle wird demnach die elektromotorische Kraft des Daniell $E = 1{\cdot}07\left(1 + \frac{1{\cdot}07}{50} + \ .\ .\ .\right)$ Volt. Die Klemmenspannung $1{\cdot}07$ ist also bloß um 2% zu vergrößern; die übrigen Glieder der Reihe fallen bei der möglichen Genauigkeit fort, so dass

$$E = 1{\cdot}09 \text{ Volt.}$$

(Thatsächlich schwankt diese Spannung zwischen 0·9 bis 1·2 Volt).[1] Der innere Widerstand

$$W_i = \frac{E}{A} = \frac{1{\cdot}09}{0{\cdot}51} = 2{\cdot}2 \text{ Ohm}$$

Für Smee-, Bunsen- u. Grove-Elemente ergibt sich der Widerstand als so unbedeutend, dass die Klemmenspannung $\operatorname{tg}\alpha$ mit mehr als 1% Genauigkeit als elektromotorische Kraft genommen werden kann.

Beispiel einer einfachen u. raschen Messung. 1 Grove 12 *cm* hoch.

An den kleinen Klemmen gemessen $\alpha = 61^0$; $\operatorname{tg}\alpha = 1{\cdot}80$.

An den starken Klemmen gemessen $\beta = 76^0$, $\operatorname{tg} 76^0 = 4$, $A = 4$ Ampère.

$$E = 1{\cdot}80\left(1 + \frac{1{\cdot}80}{400} + \ .\ .\ .\right);$$

bei $\frac{1}{2}\%$ Genauigkeit ist sogar schon das zweite Glied zu vernachlässigen, so dass

$$E = 1{\cdot}80 \text{ Volt.}$$

$$A = 4{\cdot}0 \text{ Ampère}$$

$$W_i = \frac{1{\cdot}8}{4{\cdot}0} = 0{\cdot}45 \text{ Ohm.}$$

[1]) Josef Keßler, Zur absoluten Messung des elektrischen Stromes, 1887.

Der Reduktionsfaktor C der Formel $J = C \text{ tg } \alpha$ kann in folgender Weise ermittelt werden: Schickt man einen Strom von genau bekannter Stromstärke durch das Instrument, so ergibt sich ein gewisser Ausschlagswinkel α. Es sind deshalb in der obigen Formel J und α bekannt, und es ist

$$C = \frac{J}{\text{tg } \alpha}.$$

Die Angaben des Instrumentes hängen von der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus ab und sind demnach an verschiedenen Orten verschieden, ja sie ändern sich von Meter zu Meter. Besondere Änderungen bedingen Eisenmassen. Bei der Kessler'schen Bussole kann man die Änderungen des Erdmagnetismus dadurch ausgleichen, dass man die Entfernung zwischen Nadel-Mittelpunkt und Ring so lange ändert, bis 1 Volt bei den dünnen Windungen einen Ausschlag von 45° gibt.

Die Formel für die Tangentenbussolen folgt aus dem Biot-Savart'schen Gesetz (§ 40): $P = \frac{M J L \sin \vartheta}{R^2}$ p, indem man zunächst — was hier zulässig erscheint — $\sin\vartheta = \sin 90° = 1$ und $p = 1$ setzt. Dann ist Fig. 16:

$$AC = P = \frac{M J L}{R^2}.$$

Sei R der mittlere Radius der N Windungen der Bussole, so ist $L = 2\pi RN$ und $P = \frac{2 N\pi J M}{R}$ = der Kraft, mit welcher der Magnet senkrecht gegen den Stromkreis gestellt wird, wenn der Erdmagnetismus den Magnet parallel zur Ebene des Stromkreises zurückdrehen würde. AB, Fig. 16, sei die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus auf die Maßeinheit des Magnetismus bezogen. Dann ist: $AB = HM$ die Wirkung auf die Masse M. Soll Gleichgewicht an der Nadel eintreten, dann muss die Resultierende der beiden Kräfte in die Längsrichtung der Nadel fallen. Bei dem Ablenkungswinkel α ergibt sich die Beziehung

$$\frac{AC}{AB} = \text{tg } \alpha = \frac{2 N\pi J M}{R H M}.$$

Wir erhalten demnach für die Stromstärke die Formel $J = \frac{RH}{2 N\pi} \text{ tg } \alpha$, worin $\frac{RH}{2 N\pi}$ der Reduktionsfaktor der Tangentenbussole genannt wird. Einzusetzen sind R in *mm*, H in Mitteleuropa rund 0·2 (kann aus Tabellen entnommen werden), N = Windungszahl (unbenannte Zahl) und $\pi = 3{\cdot}14159$ (Ludolph'sche Zahl).

Beispiel: $R = 200$ *mm*, $H = 0{\cdot}2$, $C = ?$

$$C = \frac{RH}{2\pi N} = \frac{200.0{\cdot}2}{2\pi} = \frac{20}{\pi} = 6{\cdot}4.$$

Demnach ist für den Ablenkungswinkel von 45° tg 45 = 1 und die Stromstärke $J = 6{\cdot}4.1 = 6{\cdot}4$ Ampère.

Mit der Tangentenbussole kann man auch umgekehrt das H, das man sonst durch magnetische Schwingungsversuche erhält, bestimmen. Schickt man bei der letzten Bussole 6·4 Ampère durch die Windung, dann muss der Ausschlag 45° betragen, und es ist $6{\cdot}4 = \frac{RH}{2 N\pi}$, $H = \frac{2.6{\cdot}4.3{\cdot}14.N}{200} \infty 0{\cdot}2$, wenn $N = 1$.

42. Erstes Gesetz nach Kirchhoff. An jedem Orte, an welchem mehrere Drähte zusammenstoßen, muss die algebraische Summe aller Stromstärken (Intensitäten) gleich Null sein.

An einem Orte solcher Art fließt ebensoviel Elektricität zu als ab, denn sonst müsste dort eine Anhäufung von Elektricität stattfinden.

43. Zweites Gesetz nach Kirchhoff. Bildet man in einem geschlossenen, verzweigten Stromkreise die Summe der Produkte aus Stromstärke und Widerstand für jeden einzelnen Draht, so gibt die Summe dieser Produkte die elektromotorische Kraft des Stromkreises an.

Summe aller $A \times O = V =$ elektromotor. Kraft des Stromkreises.

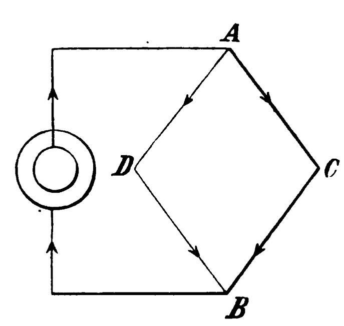


Fig. 21. Einfache Stromverzweigung.

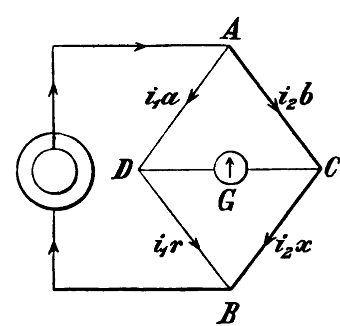


Fig. 22. Brückenmethode.

44. Einfache Stromverzweigung, Fig. 21.

$$\text{Stromstärke in } ACB = i_1 = \frac{\text{Spannungsdifferenz } A - B}{\text{Widerstand } ACB} = \frac{V}{w_1}$$

$$\text{Stromstärke in } ADB = i_2 = \frac{\text{Spannungsdifferenz } A - B}{\text{Widerstand } ADB} = \frac{V}{w_2}$$

Daraus folgt:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{V}{w_1} : \frac{V}{w_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

oder

$$i_1 : i_2 = w_2 : w_1, \text{ d. h.:}$$

Die Stromstärken in 2 nebeneinander geschalteten Zweigen verhalten sich umgekehrt zueinander, wie die betreffenden Zweigwiderstände.

Bezeichnen wir, Fig. 21, den Widerstand der Verzweigung mit w, so ist

$$i = \frac{V}{w} = \text{Gesammtstrom} = \frac{V}{w_1} + \frac{V}{w_2}$$

oder, durch V gekürzt, beziehungsweise $V = 1$ gesetzt:

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} = \frac{w_1 + w_2}{w_1 w_2} \text{ und } w = \frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2} \text{ d. h.:}$$

Der Gesammtwiderstand zweier Zweigwiderstände ist gleich dem Produkte derselben, dividiert durch ihre Summe.

Da $\frac{i_1}{i} = \frac{V}{w_1} : \frac{V}{w}$, so muss $\frac{i_1}{i} = \frac{w}{w_1}$ oder $i_1 = \frac{iw}{w_1}$ sein, d. h.:

Der Strom eines Zweiges ist gleich dem Gesammtstrom mal dem Gesammtwiderstande der Verzweigung, dividiert durch den Widerstand des betreffenden Zweiges.

Nach dieser Regel ist

$$i_1 = i\,\frac{w_1 w_2}{w_1 + w_2} : w_1 = i\,\frac{w_2}{w_1 + w_2}.$$

Bei 3 Zweigen erhält man:

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} = \frac{w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3}{w_1 w_2 w_3}$$

$$w = \frac{w_1 w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3}$$

$$\text{und } i_1 = i\,\frac{w_2 w_3}{w_1 w_2 + w_2 w_3 + w_1 w_3}.$$

Falls die Widerstände $w_1, w_2, w_3 \ldots w_n$ einander gleich sind, dann ist

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \frac{1}{w_3} + \ldots + \frac{1}{w_n} = \frac{n}{w_1}, \text{ d. h.:}$$

Der Gesammtwiderstand von n gleichen Zweigen wird gefunden, indem man den Widerstand eines Zweiges durch n dividiert.

Beispiel: In einem Leitungsnetze seien 100 Glühlampen, deren Widerstand heiß à 200 Ohm beträgt, nebeneinander geschaltet. Wie groß ist der Gesammtwiderstand dieser Lampen?

$$w = \frac{200}{100} = 2 \text{ Ohm}.$$

Anwendung des Gesetzes nach Kirchhoff.

Bei C, Fig. 21, sei ein Galvanometer eingeschaltet. Im Punkte A trete der Strom J ein, im Punkte B soll derselbe Strom J aus der Stromverzweigung austreten. Die Stromstärke des Zweiges ADB bezeichnen wir mit i_1 den Widerstand desselben Zweiges mit w_1. Die entsprechenden Werte des Zweiges ACB nennen wir i_2 beziehungsweise w_2.

Nach obigem verhalten sich die Stromstärken in 2 nebeneinander geschalteten Zweigen umgekehrt wie die Widerstände, d. h.:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_2}{w_1} \text{ oder } 1 + \frac{i_1}{i_2} = 1 + \frac{w_2}{w_1} \text{ oder } \frac{i_1 + i_2}{i_2} = \frac{w_1 + w_2}{w_1}$$

$$\text{Da } i_1 + i_2 = J, \text{ erhalten wir } \frac{J}{i_2} = \frac{w_1 + w_2}{w_1}.$$

Wenn demnach durch das Galvanometer bei C nur der n^{te} Theil des zu messenden Stromes fließen soll, dann muss

$$i_2 = \frac{1}{n} J.$$

Setzt man diesen Wert in die vorstehende Gleichung ein, so erhält man

$$\frac{J}{\frac{1}{n} J} = \frac{w_1 + w_2}{w_1} \text{ oder } w_1 = \frac{1}{n-1} w_2.$$

Neben ein Galvanometer, durch welches nur $1/_{10}$, $1/_{100}$, $1/_{1000}$ u. s. w. des Gesammtstromes fließen soll, muss demnach ein Widerstand von $1/_9$, $1/_{99}$, $1/_{999}$ u. s. w. des Widerstandes w_1 geschaltet werden.

45. Die Brückenmethode nach Wheatstone (Kirchhoff), Fig. 22.

$$\text{Stromstärke in } AD = \frac{\text{Spannungsdifferenz } A-D}{\text{Widerstand } AD},$$

$$\text{Stromstärke in } AC = \frac{\text{Spannungsdifferenz } A-C}{\text{Widerstand } AC},$$

$$\text{Stromstärke in } DB = \frac{\text{Spannungsdifferenz } D-B}{\text{Widerstand } DB},$$

$$\text{Stromstärke in } CB = \frac{\text{Spannungsdifferenz } C-B}{\text{Widerstand } CB},$$

$$\text{Stromstärke in } CD = \frac{\text{Spannungsdifferenz } C-D}{\text{Widerstand } CD}.$$

Für den Fall, dass durch die sogenannte Brücke kein Strom geht, sind, Fig. 22, die Stromstärke in $AD =$ der Stromstärke in $DB = i_1$, Stromstärke in $AC =$ der Stromstärke in $BC = i_2$ und (wenn a, b, r und x die Widerstände der Stromzweige AD, AC, DB und BC bedeuten): $x i_2$ (= Spannungsdifferenz $B - C$) $= r i_1$ (= Spannungsdifferenz $B - D$). $b i_2$ (= Spannungsdifferenz $A - C$) $= a i_1$ (= Spannungsdifferenz $A - D$).

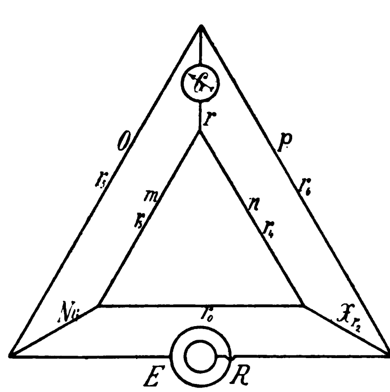


Fig. 23. Thomson'sche Doppelbrücke.

Also:

$$x i_2 = r i_1,$$
$$b i_2 = a i_1;$$

dividiert man diese beiden Gleichungen durcheinander, so erhält man

$$\frac{x}{b} = \frac{r}{a} \text{ oder } x = \frac{b}{a} \cdot r.$$

46. Thomson'sche Doppelbrücke.

Diese Brücke, deren Schaltungsschema Fig. 23 wiedergibt, dient zur Messung sehr kleiner Widerstände.

Widerstände: $r_0, r, r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, R$

Ströme: $i_0, i, i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, J$

Für $i = 0$ folgt aus dem Kirchhoff'schen Gesetze·

$i_3 = i_4$ . . . . *I.*

$i_5 = i_6$ . . . . *II.*

$J = i_1 + i_5 = i_2 + i_6$ . . . . *III.*

es muss daher $i_1 = i_2$ sein . . . . *IV.*

$i_1 = i_0 + i_3$ . . . . *V.*

$i_0 r_0 - i_3 r_3 - i_4 r_4 = 0$ . . . . *VI.*

$i_1 r_1 - i_5 r_5 + i_3 r_3 = 0$ . . . . *VII.*

$i_2 r_2 + i_4 r_4 - i_6 r_6 = 0$ . . . . *VIII.*

Aus den letzten zwei Gleichungen folgt, wenn man in Betracht zieht, dass $i_1 = i_2$ und $i_3 = i_4$,

$$\frac{i_5 r_5}{i_6 r_6} = \frac{i_1 r_1 + i_3 r_3}{i_1 r_2 + i_3 r_4}$$

Aus der Gleichung *VI* folgt: $i_0 = \frac{i_3 r_3 + i_4 r_4}{r_0}$

und weil $i_1 = i_0 + i_3$ . . . . *V*, so ist $i_1 = \frac{i_3 r_3 + i_4 r_4}{r_0} +$ $+ i_3$; $i_1 = \frac{i_3 r_3 + i_4 r_4 + i_3 r_0}{r_0}$ und weil $i_3 = i_4$ . . . *I*, so ist

$$i_1 = \frac{i_3}{r_0}(r_0 + r_3 + r_4).$$

Hiermit wird

$$\frac{r_5}{r_6} = \frac{\frac{i_3 r_1}{r_0}(r_0 + r_3 + r_4) + i_3 r_3}{\frac{i_3 r_2}{r_0}(r_0 + r_3 + r_4) + i_3 r_4} = \frac{\frac{r_1(r_0 + r_3 + r_4) + r_0 r_3}{r_0}}{\frac{r_2(r_0 + r_3 + r_4) + r_0 r_4}{r_0}} =$$

$$= \frac{r_1(r_0 + r_4 + r_4) + r_0 r_3}{r_2(r_0 + r_3 + r_4) + r_0 r_4} = \frac{r_1 + \frac{r_0 r_3}{r_0 + r_3 + r_4}}{r_2 + \frac{r_0 r_4}{r_0 + r_3 + r_4}} =$$

$$= \frac{r_1 + \frac{r_3}{1 + \frac{r_3 + r_4}{r_0}}}{r_2 + \frac{r_4}{1 + \frac{r_3 + r_4}{r_0}}}.$$

Setzt man so wie Siemens und Halske $s = \frac{r_3}{r_4} = \frac{r_5}{r_6} \ldots\ldots IX,$

dann wird $$\frac{r_3}{r_4} = \frac{r_1 + \cfrac{r_3}{1 + \cfrac{r_3 + r_4}{r_0}}}{r_2 + \cfrac{r_4}{1 + \cfrac{r_3 + r_4}{r_0}}}; \quad \frac{\left(r_1 + \cfrac{r_3}{1 + \cfrac{r_3 + r_4}{r_0}}\right) r_4}{\left(r_1 + \cfrac{r_4}{1 + \cfrac{r_3 + r_4}{r_0}}\right) r_3} =$$

$$= \frac{r_1\, r_4 + \cfrac{r_3\, r_4}{1 + \cfrac{r_3 + r_4}{r_0}}}{r_2\, r_3 + \cfrac{r_3\, r_4}{1 + \cfrac{r_3 + r_4}{r_0}}} = \frac{r_1\, r_4}{r_2\, r_3} = 1 \text{ oder}$$

$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4} = s \ldots\ldots X;\ r_2 = r_1 \cdot \frac{r_4}{r_3}$ und mit Berücksichtigung der Buchstaben in Fig. 23:

$$X = N \frac{n}{m}.$$

Setzt man $r_3 = r_4$ und $r_5 = r_6$, so muss nach den Gleichungen IX und X: $r_1 = r_2$ sein, d. h.:

$$X = N.$$

IV. Kapitel.

Wirkungen des galvanischen Stromes.

47. Eintheilung.

I. Wirkungen im Stromkreise.

1. Physiologische Wirkungen.
2. Chemische Wirkungen.
3. Wärmewirkungen (Kalorische Wirkungen).
4. Lichtwirkungen.
5. Mechanische Wirkungen.

II. Wirkungen des galvanischen Stromes in die Ferne.

1. Magnetische Wirkungen oder Elektromagnetismus.

2. Elektrische Wirkungen oder Wirkungen der Bewegung des elektrischen Stromes oder Elektrodynamik.

a) Wechselwirkung zwischen Strömen und zwischen Strömen und Magneten.

b) Induktionswirkungen.
c) Elektrische Schwingungen.

I. Wirkungen des galvanischen Stromes im Stromkreise.

48. Physiologische Wirkungen. Unter den physiologischen Wirkungen des elektrischen Stromes versteht man die Einwirkung desselben auf Menschen, Thiere und Pflanzen (§ 24).

Bringt man die Zunge zwischen einen blanken Zink- und einen blanken Kupferstreifen, so dass die Metallstreifen vor dem Munde in Berührung sind, so empfindet man einen sauren Geschmack, wenn das Kupfer oben auf der Zunge liegt, einen laugenhaften, wenn das Kupfer unten an der Zunge liegt.

Legt man einen Kupferstreifen an das rechte, einen Zinkstreifen an das linke Zahnfleisch der oberen Kinnlade und bringt dann die vorderen Enden der Metallstreifen miteinander in Berührung, so empfindet man vor den Augen einen vorübergehenden Lichtschimmer.

Das Schließen einer galvanischen Batterie von etwa 50 Elementen mit den angenässten Fingern verursacht in den Armen ein eigenthümliches Zucken, den sogenannten Schließungsschlag, das Öffnen des Stromkreises, durch das Entfernen der Hände von den beiden Endpolen, bewirkt ein schwächeres Zucken, den Öffnungsschlag.

Anwendung: Elektro-Medizin.

49. Chemische Wirkungen. Wasser, verdünnte Säuren, Metalloxyde und Salzlösungen werden durch den Strom in ihre Bestandtheile, Elektrolyte, zerlegt.

Nach Faraday heißen die Grenzflächen der Polplatten Elektroden. Die mit dem positiven Pole verbundene Elektrode heißt Anode, die mit dem negativen Pole verbundene Elektrode Kathode; die durch den Strom abgeschiedenen Stoffe nennt man Jonen und zwar den positiven Jon Anion, den negativen Jon Kation.

Die Apparate, in denen die Zersetzungen stattfinden, heißen Voltameter. Die Menge des abgeschiedenen Jon kann durch Wägen oder Messen ermittelt werden.

Die elektrochemischen Zerlegungen nennt man Elektrolysen.

Aus sämmtlichen Flüssigkeiten (Lösungen) scheidet sich während der Elektrolyse der Sauerstoff am +, der Wasserstoff und die Metalle am — Pole ab.

Bei der Elektrolyse werden am positiven Pole negative, am negativen Pole positive Massen frei. Es entsteht so zwischen diesen Massen ein Strom, welcher dem sie bildenden Strome entgegengesetzt gerichtet ist.

Die elektromotorische Kraft, welche der eingeschalteten Stromquelle entgegengesetzt gerichtet ist, nennt man die Polarisation der Elek-

troden. Den Strom der galvanischen Polarisation kann man an einem Messinstrumente beobachten, wenn man die Stromquelle abschaltet.

Eine ähnliche Erscheinung ist die sogenannte elektrische Endosmose. Trennt man z. B. in einem Gefäße, in welchem sich eine Kupfervitriollösung befindet, die letztere durch eine poröse Scheidewand und schickt Strom durch, so wird die Flüssigkeit in der Richtung des + Stromes fortgeführt, so dass die Flüssigkeit auf der Seite des negativen Poles ansteigt.

Die Wissenschaft, welche sich mit den chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes befasst, heißt Elektrochemie.

Anwendung: Elektrochemie.

In das Gebiet der Elektrochemie gehören:

1. Die Elemente und die Batterien. Zwei durch eine Flüssigkeit miteinander verbundene Metalle, Fig. 24, zeigen an ihren Enden Elektricität (§ 31) und stellen ein Element dar; sind die freien (hervorstehenden) Enden unverbunden, so heißt das Element offen, werden dieselben unter gleichzeitiger Zwischenschaltung eines Widerstandes miteinander vereinigt, so ist das Element geschlossen, werden dieselben dagegen ohne Zwischenschaltung eines Widerstandes vereinigt, dann nennt man das Element kurzgeschlossen.

Mehrere miteinander verbundene Elemente nennt man eine Batterie. Elemente, deren elektromotorische Kraft längere Zeit gleich bleibt, heißen konstante Elemente; zu den letzteren zählen die Elemente von:

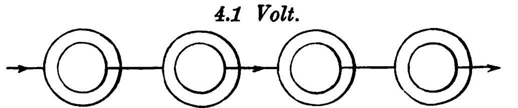


Fig. 25. Hintereinanderschaltung von vier Elementen.

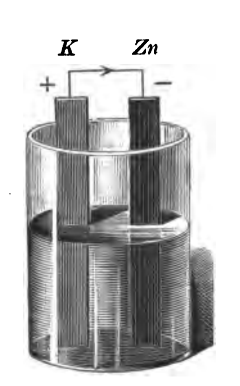


Fig. 24.
Kurzgeschlossenes Element.

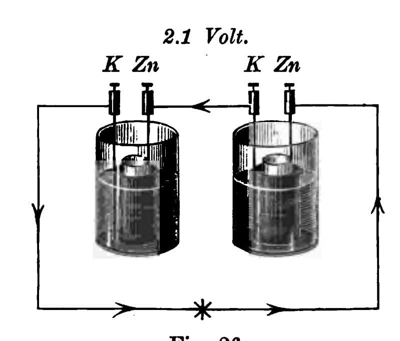


Fig. 26.
Hintereinanderschaltung zweier Daniell-Elemente.

a) Daniell (1836) mit den wesentlichen Bestandtheilen: Zink in verdünnter Schwefelsäure, Diaphragma (poröser Thoncylinder) und Kupfer in Kupfervitriollösung.

Um große Wärmeentwicklung zu verhindern, gießt man die Säure zum Wasser.

b) Meidinger (Callaud 1858, Meidinger 1859). Kupfer in Kupfervitriollösung und Zink in Bittersalzlösung. Die Lösungen stehen ohne Diaphragma übereinander.

c) Bunsen (1842). Zink in verdünnter Schwefelsäure, Diaphragma und Kohle in concentrierter Salpetersäure.

d) Grove (1839). Derselbe ersetzte in dem letztgenannten Elemente Kohle durch Platin.

e) Leclanché (1868). Zink in Salmiaklösung, Diaphragma und Gemisch von Braunstein und Kohle.

Die Schaltung der Elemente sei beispielsweise an 4 Elementen durchgeführt; sie kann sein:

1. Hintereinander-, Reihen- oder Serienschaltung (Schaltung auf Spannung), Fig. 25 u. 26.

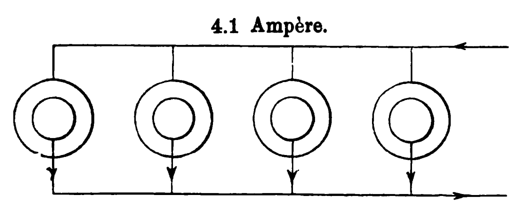


Fig. 27. Nebeneinanderschaltung von vier Elementen.

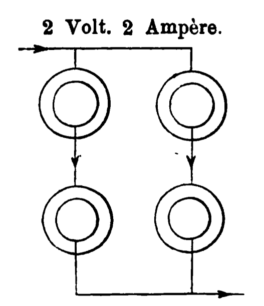


Fig. 28. Gemischte Schaltung von vier Elementen.
1. Hintereinander.
2. Nebeneinander.

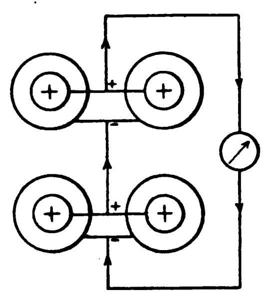


Fig. 29. Gemischte Schaltung von vier Elementen.
1. Nebeneinander.
2. Hintereinander.
2 Ampère. 2 Volt.

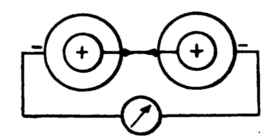


Fig 30. Gegeneinanderschaltung von zwei Elementen.
+ 1 Volt — 1 Volt.

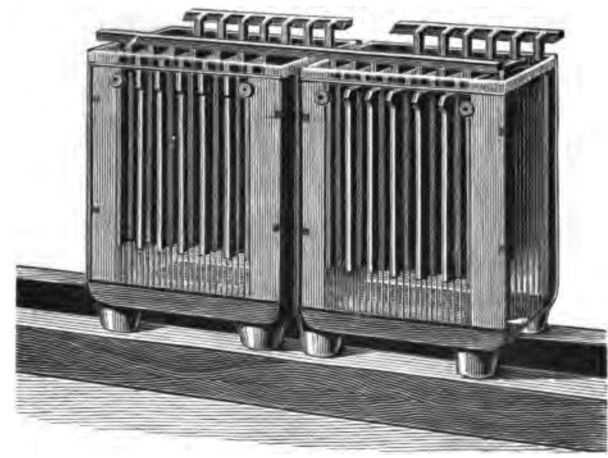


Fig. 31.
Zwei Zellen der Accumulatoren-Fabrik-Aktien-Gesellschaft (System Tudor).

2. Nebeneinander-, Nebenschluss-Parallel-, oder Shunt-Schaltung (Schaltung auf Stromstärke), Fig 27.
3. Gemischte Schaltung.
   a) Hintereinander-, Nebeneinander-Schaltung, Fig. 28.
   b) Nebeneinander-, Hintereinander-Schaltung, Fig. 29.
4. Gegeneinander-Schaltung, Fig. 30.

Die Schaltungen können durch Drahtkombinationen (Pachytrope) gewechselt werden.

Diese Schaltungen finden nicht bloß bei den Elementen, sondern auf dem gesammten Gebiete der Elektricitätslehre Verwendung.

2. Sammler (Accumulator oder Sekundärelemente), Fig. 31. Die Sammler haben den Zweck, Elektricität in sich anzusammeln und dieselbe zu beliebiger Zeit wieder abzugeben. Die in der Elektrotechnik gebräuchlichsten Sammler bestehen aus Bleiplatten, welche in verdünnter Schwefelsäure, von einander metallisch isoliert, angeordnet sind. Die geraden Platten werden zu einem, die ungeraden zu einem zweiten Pole vereinigt.

Das erste Laden und Entladen (Formieren) der Platten dauert sehr lange, wenn die Platten rein metallisch sind. Beim Laden der Sammler bildet sich auf den Platten Bleisuperoxyd. Man kann deshalb den Vorgang des Formierens verkürzen, wenn man Mennige in die Bleiplatten (Bleigitter oder geriefte Platten) einstreicht, die sich durch die Elektrolyse bald in Bleisuperoxyd verwandelt.

Die Sammler beruhen wesentlich auf der Polarisation der Elektroden (S. 39).

3. Die Wasserzersetzung. Schickt man den Strom einer galvanischen Batterie zu zwei in Wasser befindlichen Platinelektroden,

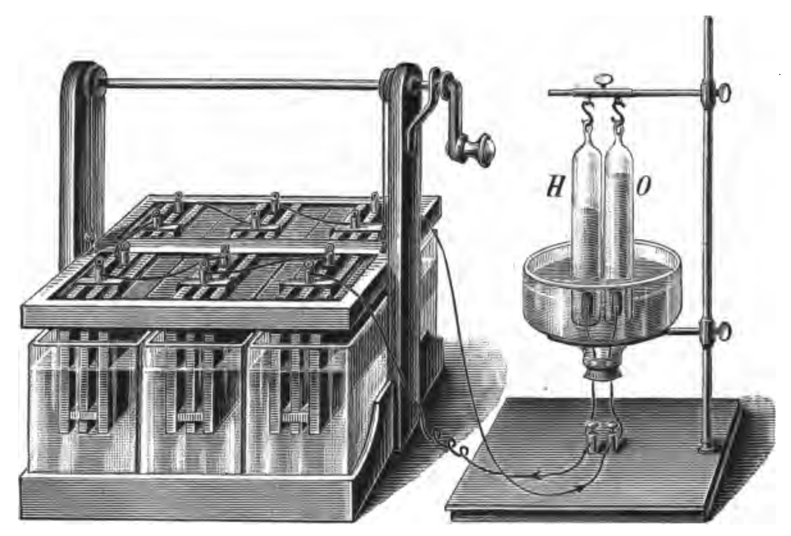


Fig. 32. Wasserzersetzungsapparat sammt Tauchbatterie.

Fig. 32, so steigen an diesen Gasblasen auf und zwar am positiven Pole Sauerstoff *O*, am negativen Wasserstoff *H*. In der Figur sind die Elemente der Tauchbatterie hintereinander geschaltet.

4. Das Voltameter (Faraday, 1835), Fig. 33, besteht aus zwei metallischen Elektroden (Kupfer, Silber, Platin u. s. w.) *A* und *K*, welche in die zu zersetzende Flüssigkeit eingetaucht sind. Das Glasrohr *G* dient zum Ausströmen der Gase. Zu den genauesten Strommessungen wird insbesondere das Silber-Voltameter verwendet; dasselbe besteht aus einer Silber-Anode (Stift aus reinem Silber) und aus einer Platin-Kathode (Platin-Tiegel). Die Elektroden, stehen in einer 15—30 procentigen Lösung von Silbernitrat (Höllenstein). Das Kupfer-Voltameter besteht aus einer Kupfer-Anode und aus einer Kupfer- oder Platin-Kathode in Kupfer-Sulphat-Lösung.



Fig. 33. Voltameter.

Anwendung: Genaue Stromstärkemessung.

5. Die Galvanoplastik. Die Galvanoplastik ist die Kunst, Metalle aus ihren Lösungen vermittels des galvanischen Stromes an einer leitenden Kathode auszuscheiden und die Form der Elektrode nachzubilden. Die Erhabenheiten erscheinen als Vertiefungen und umgekehrt. So entsteht der negative Abdruck. Wird der negative Abdruck als Kathode benützt, so erhält man den positiven Abdruck, welcher die Form der Kathode besitzt.

6. Die Galvanostegie. Die Galvanostegie ist die Kunst, dünne Schichten eines Metalles auf leitenden Unterlagen auszuscheiden. Dahin gehören: Vernickeln, Verkupfern, Versilbern u. s. w.

7. Die Galvanochromie. Die Galvanochromie oder galvanische Metallfärbung ist die Kunst, eine oberflächliche Färbung und Verschönerung von leitenden Unterlagen von einem äußerst dünnen Metallniederschlag auf elektrolytischem Wege herzustellen.

8. Die Heliogravure. Die Heliogravure ist die Kunst, elektrolytische Abdrücke von Photographien zu erzeugen.

9. Die Reinmetallgewinnung (Elektrometallurgie). Die Reinmetallgewinnung ist die Kunst, mittels der Elektrolyse Metalle in chemisch reinem Zustande zu gewinnen.

10. Weitere Gebiete der Elektrochemie. Das Färben, Bleichen, Gerben u. s. w. auf dem Wege der Elektrolyse.

11. Das Gravieren der Metalle. Die + Elektrode wird während der Elektrolyse aufgelöst. Überzieht man gewisse Stellen der + Elektrode mit einer isolierenden Substanz z. B. mit Wachs, so bleiben diese Stellen erhalten; sie sind erhaben gegen ihre Umgebung. Erhabene Stellen erhält man demnach durch das Isolieren, tiefe Stellen dadurch, dass man die Umgebung isoliert.

50. Wärmewirkungen. Ein dünner Draht wird, wenn man durch denselben eine Batterie kurz schließt, warm, glühend und schmilzt sogar, falls die Batterie die entsprechende Stromstärke besitzt.

Grove (1845) hat glühende Drähte in Glasballons behufs Vermeidung der „schlagenden Wetter" in Bergwerken zur Beleuchtung vorgeschlagen. Der Vorschlag Grove's war ein Vorbote unserer heutigen Glühlampen.

Childern (1815) führte vermittels des galvanischen Stromes Schmelzungen im Großen aus.

Roberts (1837) verwendete den galvanischen Strom zur Abgabe von Sprengschüssen (Elektrische Glühzündung); in der Galvanokaustik dienen glühende Drähte zum Entfernen von Auswüchsen am menschlichen Körper u. s. w.

Joule's Gesetz. Nach früherem (§ 38) ist eine elektrische Arbeit $= \mathrm{VCb} = \mathrm{VA\ Sek.}$ oder $\mathrm{PS} = \frac{\mathrm{VA}}{736}$.

Setzen wir in der Gleichung Elektr. Arbeit = VA Sek. für V = A Ω (Ohm'sches Gesetz), so erhalten wir

$$\text{Elektr. Arbeit} = A^2\,\Omega\ \text{Sek.}$$

Diese Gleichung heißt Joule's Gesetz.

Diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur 1 *g* (1 *kg*) Wasser von 0° bis 1° C. zu erhöhen, nennt man Gramm-Kalorie = kleine Kalorie = kal. (Kilogramm-Kalorie = Kal.). 1 Kal. = 1000 kal.

Specifische Wärme oder Wärmekapacität σ nennt man diejenige Anzahl von Wärmeeinheiten (Kalorien), welche seine Masseneinheit (*g* oder *kg*, je nach der Definition der Kalorie) um 1° C. erwärmt (Wilke 1772).

		Zur Erwärmung			
1 *g*	eines Körpers um	1° C.	ist die Wärmemenge	$Q = \sigma$	kal. erforderlich.
2 *g*	„ „ „	1° C.	„ „ „	$Q = \sigma.2$	„ „
2 *g*	„ „ „	3° C.	„ „ „	$Q = \sigma.2.3$	„ „
g *g*	„ „ „	(T—t)° C.	„ „ „	$Q = \sigma\, g\, (T-t)$	„ „

Für die Wärmemenge Q, welche erforderlich ist, um g *g* eines Körpers um (T—t)° C. zu erwärmen, ergibt sich demnach die Gleichung:

$$Q = \sigma\, g\, (T - t)\ \text{kal.}$$

Beispiel: Wie viel kal. genügen zur Erwärmung von 5 *g* Quecksilber ($\sigma = 0{\cdot}0333$) von 0° auf 10° C.?

$$Q = 5.0{\cdot}0333.10 = 1{\cdot}665\ \text{kal.}$$

Durch Versuche hat man gefunden, dass durch den Verbrauch einer Arbeit von 423·5 *mkg* eine Wärmeeinheit (1 Kal.) erzeugt wird; umgekehrt erzeugt der Verbrauch einer Wärmeeinheit eine Arbeit von 423·5 *kg*. Man nennt diesen Satz die Äquivalenz von Wärme und Arbeit (R. Meyer 1842, Joule 1850.) Demnach ist

1 Kal. = 423·5 *mkg* und daher
1 kal. = 0·4235 „

J. P. Joule (1841) fand durch Versuche, dass 1 Cb eine Wärmemenge von 0·24 kal. erzeugt oder mit anderen Worten:

1 A	erzeugt in einem Widerst. v.	1 Ω	in je 1 Sek.	eine Wärmemenge $Q = 0{\cdot}24$	kal.
2 „	erzeugen „ „ „ „	1 „	„ „ 1 „	„ „ $Q = 0{\cdot}24.2^2$	„
2 „	„ „ „ „ „	1 „	„ „ 3 „	„ „ $Q = 0{\cdot}24.2^2.3$	„
2 „	„ „ „ „ „	3 „	„ „ 1 „	„ „ $Q = 0{\cdot}24.2^2.3$	„
2 „	„ „ „ „ „	3 „	„ „ 4 „	„ „ $Q = 0{\cdot}24.2^2.3.4$	„
A A	„ „ „ „ „	Ω „	„ „ Sek.	„ „ $Q = 0{\cdot}24.A^2\,\Omega$ Sek.	„

Allgemein erhalten wir demnach für die Wärmemenge Q, welche durch A Ampère in einem Widerstande von ΩOhm in einer bestimmten Anzahl von Sekunden erzeugt wird, die Formel:

$$Q = 0{\cdot}24\, A^2\, \Omega\ \text{Sek. kal.}$$

Beispiel: Durch eine Drahtspule von 10Ω fließe ein Strom von 2A; wie groß ist die in jeder Sekunde in dieser Spule erzeugte Wärmemenge Q?

$$Q = 0.24 . 2^2 . 10 . 1 = 9 \cdot 6 \text{ kal.}$$

Anwendungen der Wärmewirkungen in der Elektrotechnik: Elektrisches Glühlicht, elektrische Minen- und Torpedozündung, Heizung, Löthung, Schweißung und Schmelzen mittels des elektrischen Stromes. Elektrische Leitungen schützt man durch dünnere Drähte aus Blei, Kupfer u. s. w. (Sicherungen), welche rechtzeitig abschmelzen vor zu starker Erwärmung.

51. Lichtwirkungen. Nicholson bemerkte (1800) beim Schließen und Öffnen einer Batterie einen kleinen Funken. Humphrey Davy erzeugte (1812) die ersten größeren elektrischen Lichtbögen zwischen zwei Kohlenspitzen mit einer Batterie von 2000 Elementen.

Anwendungen der Lichtwirkungen in der Elektrotechnik: Bogenlicht, Minen- und Torpedozündung.

52. Mechanische Wirkungen. Ströme wechselnder Richtung durchlöchern Glas u. s. w.

II. Wirkungen des galvanischen Stromes in die Ferne.

1. Magnetische Wirkungen oder Elektromagnetismus.

53. Grundgesetz. 1. Eine Magnetnadel wird durch den galvanischen Strom abgelenkt (Oersted, 1819); die Richtung der Ablenkung der Nadel ändert sich mit der Aufhängung der letzteren, ober- oder unterhalb, dies- oder jenseits des Stromes und wird durch die Ablenkungsregel von Ampère oder die Rechte Handregel bestimmt:

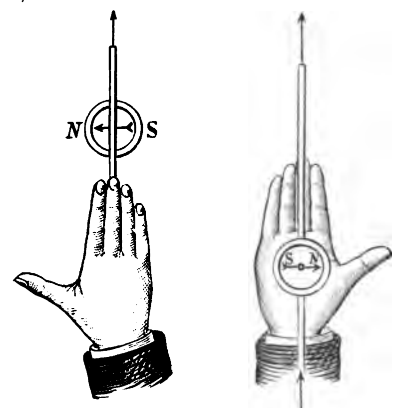


Fig. 34. Rechte Hand über dem Leiter, Nadel unter dem Leiter.

Fig. 35. Rechte Hand unter dem Leiter, Nadel über dem Leiter.

Denkt man sich, Fig. 34 und 35, die rechte Hand, so dass die Innenfläche derselben die Magnetnadel ansieht und der Strom bei den Fingerspitzen austritt, in den Strom hineingelegt, dann wird der Nordpol der Magnetnadel in der Richtung des ausgestreckten Daumens abgelenkt.

Vor einem Nordpole N, Fig. 36, aus gesehen muss daher der Strom in Drahtwindungen in der entgegengesetzten, vor einem Südpole S in derselben

Richtung der Uhrzeigerbewegung fließen. Sowie eine Magnetnadel werden alle paramagnetischen Körper durch den Strom abgelenkt. Paramagnetische Körper sind: Eisen, Stahl, Nickel, Kobalt, Platin u. s. w. Diese Körper nehmen Magnetismus an.

Nicht magnetisch erweisen sich dagegen die diamagnetischen Körper. Diamagnetisch sind: Wismut, Zink, Zinn, Blei, Kupfer, Silber,

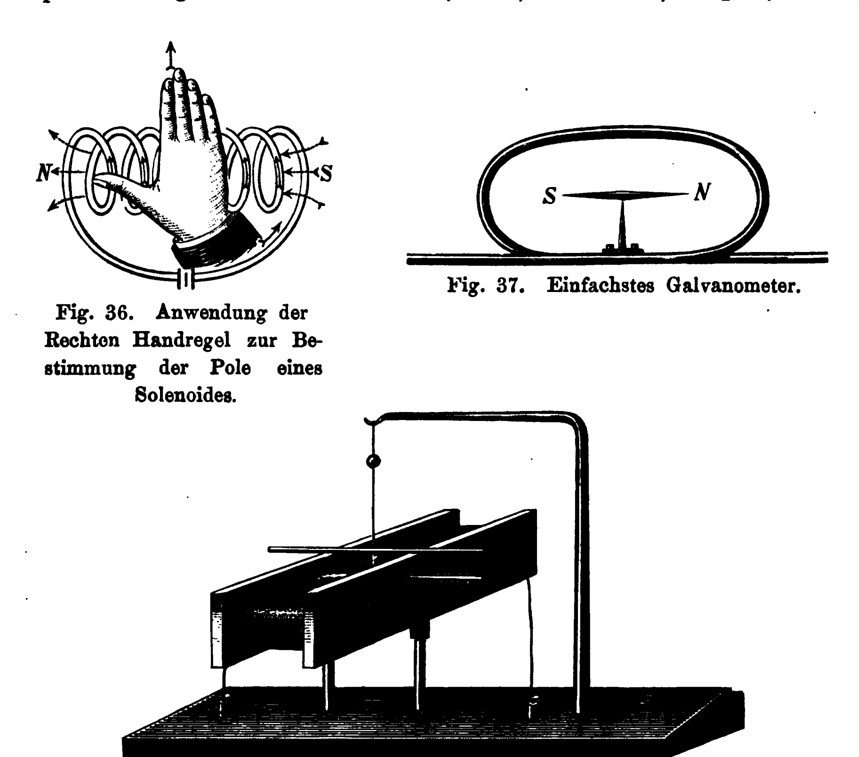


Fig. 36. Anwendung der Rechten Handregel zur Bestimmung der Pole eines Solenoides.

Fig. 37. Einfachstes Galvanometer.

Fig. 38. Galvanometer mit astatischem Nadelpaar.

Gold, Schwefel, Wasser, Weingeist u. s. w. Diamagnetische Körper werden durch den Strom nicht abgelenkt. Nach den neuesten Versuchen sind alle Körper magnetisch.

54. Galvanometer, auch Multiplikator genannt (Schweigger, 1820), Fig. 37, zeigt eine Magnetnadel, umgeben von einer oder mehreren Drahtwindungen und dient dazu, das Dasein, die Richtung und die Stärke (Intensität) eines galvanischen Stromes zu bestimmen. Fig. 38 stellt den Multiplikator mit astatischer Nadel dar. Eine astatische Nadel besteht aus zwei, mit den entgegengesetzten Polen übereinander befestigten Magnetnadeln. Die Ablenkung des Nord-

poles der einen Nadel vom Nordmagnetismus der Erde wird durch die Anziehung des darunter befindlichen Südpoles der zweiten Nadel vom Nordmagnetismus der Erde aufgehoben. Der Erdmagnetismus hat demnach auf die Magnetnadel keinen Einfluss. Durch die in der letzten Figur getroffene Anordnung werden beide Nadeln vom Strome in gleichem Sinne beeinflusst und das Galvanometer wird empfindlicher. Zeigt das Instrument nur das Dasein und die Richtung des Stromes an, dann nennt man dasselbe Galvanoskop.

55. Elektromagnet, Fig. 39 bis 41, nennt man einen Stab aus Eisen (Schmiede- oder Gusseisen), welcher mit umsponnenen, vom Strome durchflossenen Metalldrähten bewickelt ist. Der Eisenstab kann gerade, Fig. 39 und 40, oder hufeisenförmig, Fig. 41, oder anders gebogen sein. In Fig. 41 stellt *A* den sogenannten Anker vor. Die Pole des Elektromagnetes bestimmt die Ampère'sche Ablenkungsregel. Mit dem Strome verschwindet der Magnetismus bis auf den sogenannten zurückbleibenden (remanenten) Magnetismus, der nach jeder Magnetisierung zurückbleibt.

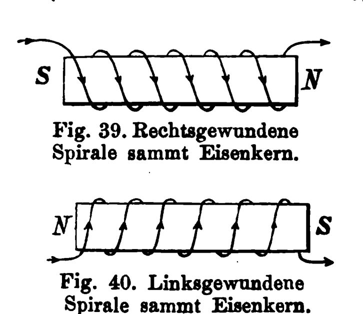


Fig. 39. Rechtsgewundene Spirale sammt Eisenkern.

Fig. 40. Linksgewundene Spirale sammt Eisenkern.

Im Naturzustande besitzt jedes Eisen natürlichen Magnetismus.

Nach A. von Waltenhofen ist der zurückbleibende Magnetismus größer, wenn der magnetisierende Strom langsam, kleiner, wenn der magnetisierende Strom plötzlich unterbrochen wird.



Fig. 41. Elektromagnet *M* sammt Anker *A* und Gewicht.

Die Drahtspiralen können in zwei verschiedenen Windungs- (Wickelungs-) Richtungen um den Eisenkern geführt sein. Je nach ihrer verschiedenen Windungsrichtung theilt man die Spiralen in rechtsgewundene (dextrorsale), Fig. 39, und in linksgewundene (sinistrorsale), Fig. 40.

Die Wickelungsrichtung bestimme ich rasch nach einer oder der anderen der folgenden Regeln:

1. Eine Spirale ist rechts gewunden, wenn Anfang und Ende derselben, vor den Polen aus gesehen, in der Uhrzeigerbewegung verlaufen.

2. Eine Spirale ist rechts gewunden, wenn an der Stelle des Stromeintrittes ein Südpol entsteht.

Treffen diese Regeln nicht zu, dann ist die Spirale links gewunden.

Den Zusammenhang zwischen der Polarität und der Stromrichtung eines Elektromagnetes gibt auch die folgende Regel an: Fließt der Strom um den Stab in der Richtung, in welcher sich das Gewinde eines Korkziehers beim Auf- und Abwärtsschrauben dreht, dann bewegt sich jeder Punkt des Korkziehers gegen den Nordpol.

Man kann diese Regel ohneweiters auf die Fig. 31 und 32 anwenden, wenn man sich die Windungen durch das Gewinde des Korkziehers ersetzt denkt.

Die Stärke des Magnetismus, d. h. die ablenkende Wirkung, welche ein Elektromagnet auf eine Magnetnadel ausübt, geben folgende Gesetze an:

1. Die doppelte, dreifache, vierfache, allgemein n-fache Stromstärke oder Windungszahl bedingt eine doppelte, dreifache, vierfache, n-fache Stärke des Elektromagnetes.

2. Je größer der Querschnitt des Eisenkernes ist, desto mehr Magnetismus vermag derselbe in sich aufzunehmen.

3. Nach A. von Waltenhofen ist die Stärke eines Elektromagnetes in Stabbündeln oder Röhren bei schwachen Strömen häufig gleich oder größer, bei starken Strömen immer kleiner als in massiven Stäben von demselben Querschnitte.

Anwendung der Elektromagnete in der Elektrotechnik: Dynamo, Elektromotoren, Beleuchtung (Regulierung der Lichtbogenlänge der Bogenlampen, Bildung des Lichtbogens u. s. w.), Telegraphie, Signalwesen, Registrier-, Kontrolle- und automatische Apparate u. s. w.

Berechnung der Länge des Drahtes auf einer Spule. Die Anzahl der Drähte, welche auf einer Spule in der Längsrichtung derselben nebeneinander Platz finden, nennt man eine Lage.

Bezeichnungen: L = Drahtlänge der Spule, M = Anzahl der Windungen einer Lage, R = Halbmesser über der fertiggewickelten Spule, r = Halbmesser der isolierten Spule, h = Durchmesser des isolierten Drahtes, $N = \frac{R-r}{h}$ = Anzahl der Lagen, $\frac{R+r}{2}$ = Halbmesser einer mittleren Windung, Mh = Innere Länge der Spule, $\pi(R+r)$ = Länge einer mittleren Windung. Mit Benützung dieser Bezeichnungen erhält man für die Länge des Drahtes die Formel:

$$L = MN\pi(R+r).$$



Beispiel: Eine Spule besteht aus 32 übereinander gewickelten Lagen zu je 65 Windungen eines isolierten 0·4 *mm* Drahtes; der Halbmesser der isolierten Spule $r = 22$ *mm*, der Halbmesser der fertiggestellten Spule $R = 96$ *mm*; wie groß ist die Länge L des gesammten Drahtes?

$L = 65.\ 32.\ 3{\cdot}14\ (96 + 22) = 6531{\cdot}2 \times 118 = 770681{\cdot}6\ mm \sim 771\ m.$

56. Gleichstrom-Läutewerk (Wecker, elektrische Klingel, Rassel), Fig 42 a, besteht aus dem Elektromagnete m_1, m_2, dem eisernen Anker A, welcher mit der Metallkugel K und der Metallfeder F in leitender Ver-

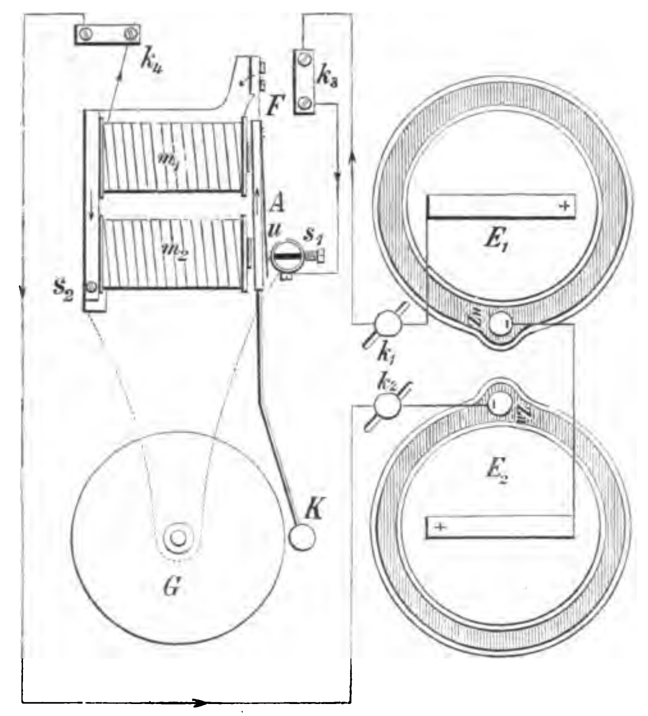


Fig. 42 a. Gleichstrom-Läutewerk.

bindung steht, sowie der Glocke G. Die Elemente E_1 und E_2 setzen das Läutewerk in Thätigkeit. Der Strom fließt von den Elementen (+Pol des Elementes E_1) zu den Klemmen k_1 und k_3 zur isolierten Schraube s_1, durch die Feder F und den Anker A in das Metallgestell des Apparates, von der Schraube s_2 in die Windungen des Elektromagnetes, zu den Klemmen k_4 und k_2, zu den Elementen (— Pol des Elementes E_2) zurück. Die in der Figur wiedergegebenen Elemente stellen die obere Ansicht (Daraufsicht) von Leclanché-Elementen dar.

Der Strom magnetisiert das Eisen des Elektromagnetes, letzterer zieht

den Anker A an, so dass der Strom bei u unterbrochen erscheint. Der Elektromagnet wird jetzt unmagnetisch, der Anker nimmt durch die Elasticität der Feder F seine ursprüngliche Stellung ein und schließt den Stromkreis. Durch die so entstehende hin- und hergehende Bewegung des Ankers A schlägt die mit demselben fest verbundene Kugel K in rascher Aufeinanderfolge an die Glocke G. Dieses Läutewerk arbeitet mit Gleich- und Wechselstrom, wird jedoch nur für Gleichstrom verwendet, weil die folgende Konstruktion des Wechselstrom-Läutewerkes schon bei den schwächsten Strömen zuverlässig arbeitet.

Der Haustelegraph besteht in seiner einfachsten Form aus einem Elemente, einem Gleichstrom-Läutewerke und aus einem Taster. Bringt man an irgend einer Stelle des obigen Stromkreises, Fig. 42 a, einen Taster an, so kann man durch das „Drücken" desselben den Stromkreis schließen. Sobald der Stromkreis geschlossen ist, tritt das Läutewerk in Thätigkeit.

Eine solche Einrichtung gibt Fig. 42 b wieder. Zwei Elemente, der Taster T_1 und das Läutewerk K sind hintereinander geschaltet. Drückt man den Taster T_1, so schließt man den Stromkreis und das Läutewerk tritt in Thätigkeit. Die Einrichtung eines Tasters ist in derselben Figur veranschaulicht. Durch das Drücken eines Knopfes wird bei C der Kontakt hergestellt, wodurch die in den Taster ein- und austretende Leitung mit einander verbunden erscheint. Der Taster T_1 befinde sich in einem Zimmer. Will man auch von einem 2. Zimmer aus Signale geben, dann schaltet man in diesem Zimmer parallel zu dem ersten Taster T_1 einen zweiten T_2 ein. Nun schließt auch der Taster T_2 beim Drücken den Stromkreis. Ebenso kann man weitere Taster in weiteren Wohnräumen parallel zu den Tastern T_1 und T_2 einschalten. Der Morse-Schreibapparat und das Relais, welche in der Telegraphie verwendet werden, sind Gleichstrom-Läutewerke ohne Stromunterbrechung (Einschläger). Mittelst eines Haustelegraphen ist man bereits in der Lage, nicht bloß Signale, sondern auch Worte wiederzugeben Man kann für die verschiedenen Buchstaben des Alphabetes langsam oder rascher aufeinander folgende und verschieden lange u. s. w. Signale geben. Anstatt gegen eine Glockenschale schlägt bei den sogenannten

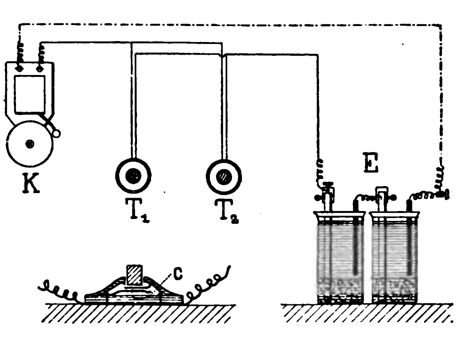


Fig. 42 b. Haustelegraph-Einrichtung.

Klopfern der Hammer gegen eine Trommel und man empfängt Zeichen durch das Gehör.

Bringt man anstatt des Hammers K, Fig. 42a, einen Schreibstift an, der gegen ein abrollendes Papier anschlagen kann, so stellt diese Anordnung des Läutewerkes einen Morse-Schreibapparat vor. Beim Telegraphieren auf größere Entfernungen müsste der Strom in der Linie (Fernleitung) zu stark sein, um den schwerfälligen Morse-Schreibapparat in Thätigkeit zu setzen. Man schaltet deshalb anstatt des Schreibapparates das sogenannte Relais, welches schon bei den schwächsten Strömen arbeitet, ein. Das Relais, wesentlich ebenfalls ein Läutewerk, empfängt den Linienstrom von der 1. Station und schaltet in der 2. Station, in welcher man die Zeichen empfängt, eine Batterie sammt einem Morse-Schreibapparate ein und aus. Das telegraphische Alphabet setzt sich aus Punkten und Strichen zusammen, welche durch kürzeres oder längeres Anschlagen auf einen Taster erhalten werden.

Der Typendrucker nach D. E. Hughes gibt die Depeschen in großen, römischen Buchstaben wieder. Der sogenannte Télescripteur nach Hoffmann ist ein neuer einfacher Typendrucker, welcher große Ähnlichkeit mit einer Schreibmaschine hat. Eine ganz neue Konstruktion derselben Art stellt der Zerograph nach Leo Kamm[1]) dar. Der Telautograph[2]) nach Elisha Gray ist bereits seit 1893 so vollkommen, dass eine mit Griffel oder Feder hergestellte Zeichnung in einer anderen Station genau wiedergegeben werden kann.

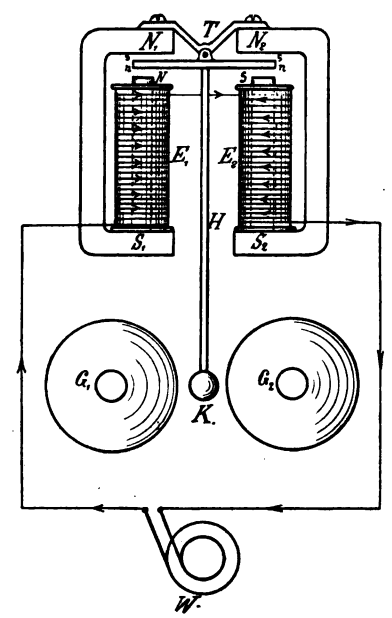


Fig. 43. Wechsel-Läutewerk.

57. Wechselstrom-Läutewerk, Fig. 43. Auf den beiden Stahlmagneten $N_1 S_1$ und $N_2 S_2$ sind die beiden Elektromagnete E_1 und E_2 aufgeschraubt, deren Eisenkernen somit Südmagnetismus mitgetheilt wird. Der Anker A besteht aus weichem Eisen (Schmiedeeisen), welches von den Schenkeln $N_1 N_2$ der Stahlmagnete $N_1 S_1$ und $N_2 S_2$, durch das Messingstück T, getragen wird. Die Pole $N_1 N_2$ erzeugen im Anker A auf der ihnen zugewendeten Seite Südmagnetismus $s\ s$, auf der abgewendeten Seite Nordmagnetismus $n\ n$. Mit dem

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1898, S. 153 bis 155.

[2]) Johann Sahulka. Die Elektrotechnik auf der Weltausstellung in Chicago, 1895 herausgegeben, S. 87 bis 98, Fig. 67 bis 71.

Anker A ist der Hebel H sammt dem Hammer K fest verbunden. Fließt ein Strom in der Richtung der in der Fig. 43 eingezeichneten Pfeile aus der Wechselstrommaschine (Induktionsapparate) W in die Spulen der Elektromagnete E_1 und E_2, so wird E_1 nordmagnetisch und stößt den Nordpol n des Ankers A ab, gleichzeitig wird der Elektromagnet E_2 stärker südmagnetisch und zieht den Nordpol n des Ankers A an. Die Pole der Elektromagnete E_1 und E_2 bewirken demnach eine Bewegung des Hammers H gegen die Glocke G_1. Wechselt der Strom seine Richtung, dann wird der Elektromagnet E_1 stärker südmagnetisch und zieht den Nordpol n des Ankers A an, der Elektromagnet E_2 dagegen wird nordmagnetisch und stößt den Nordpol n des Ankers A ab, so dass infolge der beiden letzten Wirkungen der Hammer K gegen die Glocke G_2 schlägt. Dieses Spiel findet so lange statt, als der Stromkreis geschlossen erscheint. Die größte Verbreitung hat der Wechselstrom-Wecker in der Schwachstromelektrotechnik (insbesondere in der Telephonie zum Anrufe) und als Bestandtheil des Isolationsprüfers gefunden.

2. Elektrische Wirkungen oder Wirkungen der Bewegung des elektrischen Stromes oder Elektrodynamik.

I. Wechselwirkungen zwischen Strömen und zwischen Strömen und Magneten.

58. Parallele Ströme. Parallel und gleichgerichtete Ströme ziehen einander an, entgegengesetztgerichtete Ströme stoßen einander ab.

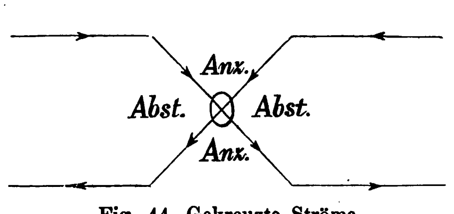


Fig. 44. Gekreuzte Ströme.

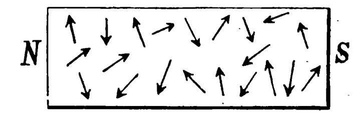


Fig. 45. Eisen im Natur-Zustande.

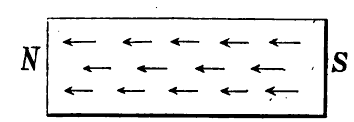


Fig. 46. Magnetisiertes Eisen.

59. Gekreuzte Ströme, Fig. 44, ziehen einander an, wenn sie entweder gleichzeitig gegen den Scheitel O eines Winkels gerichtet sind oder beide von dem Scheitel O eines

Winkels ausgehen. Geht ein Strom gegen den Scheitel eines Winkels, ein zweiter Strom vom Scheitel desselben Winkels, so stoßen sie einander ab.

Gekreuzte Ströme haben das Bestreben, sich so zu stellen, dass sie parallel laufen und nach derselben Richtung fließen.

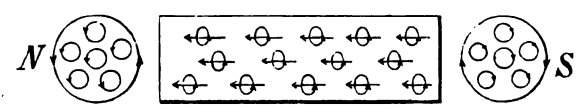


Fig. 47. Kreisströme des magnetisierten Eisens.

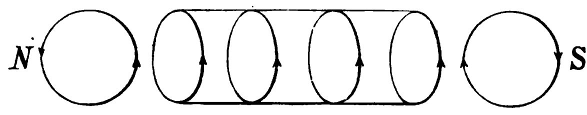


Fig. 48. Resultierender Kreisstrom.

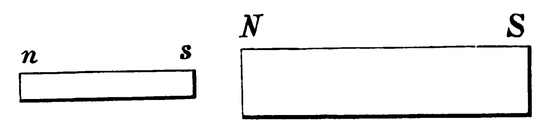


Fig. 49. Magnetische Influenz.

60. Kraftlinientheorie.

Wechselwirkung zwischen elektrischen Strömen, gewöhnlichen Magneten und dem Erdmagnetismus. Nach der Annahme über das Wesen des Magnetismus besteht jedes Eisen aus Elementarmagneten (kleinsten Magneten), die im Naturzustande, Fig. 45, die verschiedensten, im magnetischen Zustande, Fig. 46, dieselbe Richtung haben.

Magnetisieren heißt demnach die Elementarmagnete gleichrichten.

Es ergibt sich dann nach der Seite hin, nach welcher alle Nordpole gerichtet sind, ein gemeinsamer Nordpol, nach der Seite hin, nach welcher alle Südpole gerichtet sind, ein gemeinsamer Südpol.

Nach Ampère ist jedes kleinste Theilchen (Molekül) eines magnetischen Körpers von einem galvanischen Kreisstrom umflossen, Fig. 39; alle diese Molekularströme setzen sich zu einem resultierenden Strome zusammen, welcher je einen Querschnitt des Magnetes in der Richtung der Achse spiralförmig umkreist, Fig. 48.

Die Richtung des Stromes bestimmt die Rechte Handregel (§ 53). Denkt man sich die rechte Hand so liegend, dass die Innenfläche den Magnet ansieht und mit dem ausgestreckten Daumen nach dem Nordpole zeigt, so müssen sowohl die Molekularströme, als auch der resultierende Strom bei dem Handgelenke ein-, bei den Fingerspitzen austreten.

Unmagnetisches Eisen wird von beiden Polen eines Magnetes angezogen. Bringt man einen Stab aus weichem Eisen *n s*, Fig. 49, in die Nähe eines Magnetes *NS*, so wird derselbe durch Fernwirkung (Influenz) magnetisch. Das dem Nordpole *N* zugewendete Ende des Stabes *n s* wird süd-, das abgewendete Ende nordmagnetisch. Da bekanntlich gleichna-

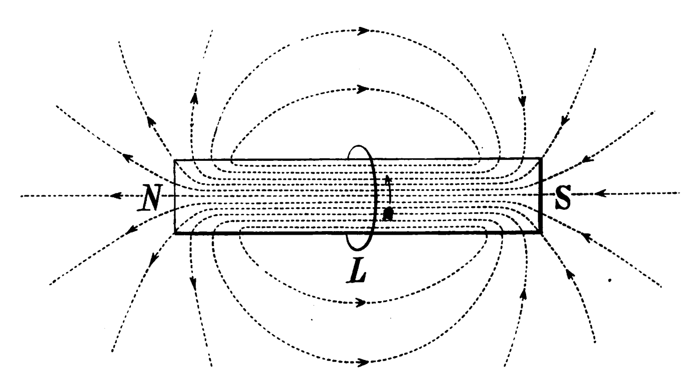


Fig. 50. Kraftlinienbild eines stabförmigen Magnetes.

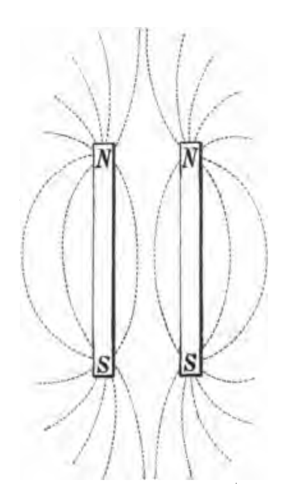


Fig. 51. Kraftlinienbild zweier Magnetstäbe, wenn gleiche Pole einander gegenüberliegen.

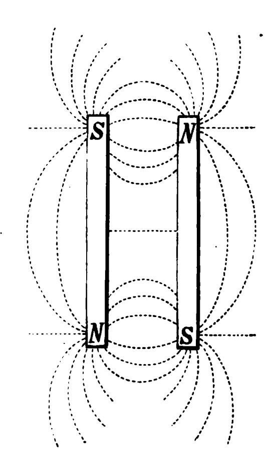


Fig. 52. Kraftlinienbild zweier Magnetstäbe, wenn ungleiche Pole einander gegenüberstehen.

mige Magnetismen einander abstoßen, ungleichnamige dagegen einander anziehen, muss zwischen N und s Anziehung stattfinden. Infolge dieser Fernwirkung des Magnetismus zieht ein Magnetpol, Eisenfeilspäne an.

Von dem Pole aus gehen die magnetischen Linien, nach Faraday „Kraftlinien“ genannt, nach allen Richtungen des Raumes aus. Eine frei aufgehängte Magnetnadel stellt sich in die Richtung der Kraftlinien ein.

Den Raum, innerhalb dessen ein magnetischer Pol wirksam ist, nennt man sein magnetisches Feld.

Fig. 50 stellt das Bild der Kraftlinien eines Magnetstabes NS dar. Der Verlauf der Kraftlinien lässt sich durch Eisenfeilspäne oder durch eine frei aufgehängte Magnetnadel verfolgen. Die Kraftlinien eines geraden Magnetstabes, Fig 42, gehen außerhalb desselben vom Nordpole zum Südpole über. Die Luft setzt den Kraftlinien einen sehr großen Widerstand entgegen. Sämmtliche Kraftlinien gehen außerhalb des Stabes vom Nordpole zum Südpole über, ein Theil derselben findet diesen Schluss erst auf großen Umwegen. Fig. 51 und 52 stellen die Gestaltung des magnetischen Feldes zweier nebeneinander befindlicher Magnetstäbe dar. Aus Fig. 51 ist ersichtlich, dass sich die Kraftlinien gleicher Pole abstoßen, aus Fig. 52 dagegen geht die Anziehung der Kraftlinien entgegengesetzter Pole hervor. Faraday hat folgende Regeln aufgestellt:

1. Jede Kraftlinie sucht den kürzesten Weg zurückzulegen.
2. Gleichgerichtete Kraftlinien stoßen einander ab, ungleichgerichtete dagegen ziehen einander an und suchen einander zu durchdringen. Aus diesen beiden Regeln folgen die in den Fig. 51 und 52 eingezeichneten Verläufe der Kraftlinien des magnetischen Feldes zweier Magnetstäbe. Nach der ersten Regel nach Faraday würden die Kraftlinien, Fig. 52, vom Nord- zum Südpole in geraden Linien übergehen; dieser Verlauf der Kraftlinien wird jedoch durch die 2. Regel nach Faraday, laut welcher diese gleichgerichteten Kraftlinien einander abstoßen und so die Lufträume zwischen den Polschuhen bogenförmig überbrücken, theilweise verhindert.

61. Anwendung der Kraftlinientheorie.

Fig. 53 versinnlicht das Bild der Kraftlinien zwischen den Polen eines Hufeisenmagnetes.

Befindet sich ein Stück Eisen E, Fig. 54, in einem magnetischen Felde, so wird dasselbe die meisten Kraftlinien in sich aufnehmen und so das magnetische Feld, in der durch die Figur angedeuteten Weise gestalten.

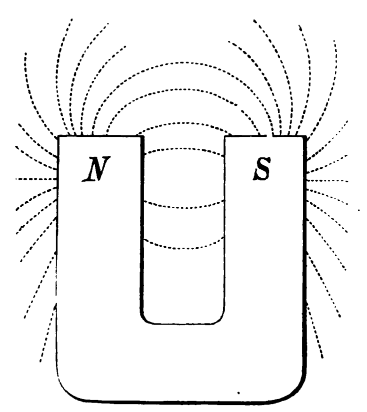


Fig. 53. Kraftlinienbild eines Hufeisenmagnetes.

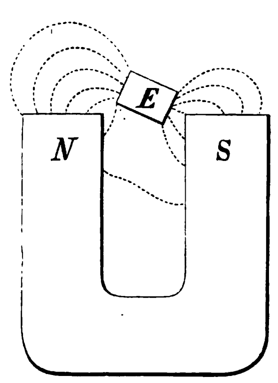


Fig. 54. Einfluss des Eisens *E* auf das Kraftlinienbild eines Hufeisenmagnetes.

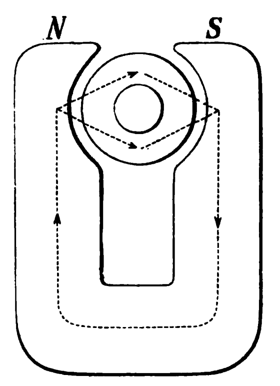


Fig. 55. Verlauf der Kraftlinien in einer elektrischen Maschine.

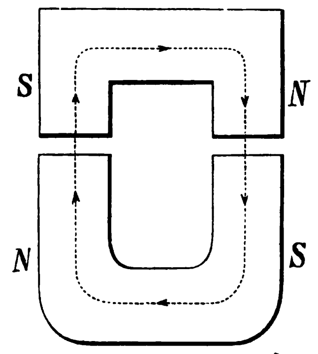


Fig. 56. Verlauf der Kraftlinien in zwei einandergegenüberstehenden Hufeisenmagneten.

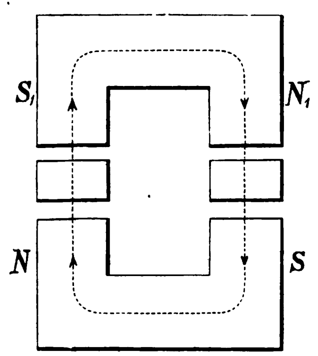


Fig. 57. Verlauf der Kraftlinien in einer elektrischen Maschine.

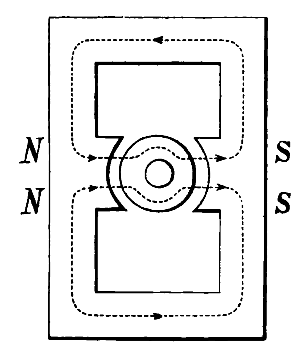


Fig. 58. Verlauf der Kraftlinien in einer elektrischen Maschine.

Weiches Eisen ist der beste Leiter des Magnetismus. Ein in dem magnetischen Felde zwischen den Polen N und S, Fig. 55, befindlicher Eisenring wird, ähnlich wie das Eisenstück E, Fig. 54, sämmtliche Kraftlinien bis auf jene, welche durch die Luft gehen, von Pol zu Pol leiten. Fig. 55 stellt zugleich den Verlauf der Kraftlinien in elektrischen Maschinen und Motoren dar.

In Fig. 56 ist der Verlauf der Kraftlinien eines Hufeisenmagnetes durch das Eisenstück (Anker) NS wiedergegeben.

Ein Bild des Verlaufes der Kraftlinien zweier Hufeisenmagnete NS und N_1S_1, zwischen welchen zwei Eisenkerne angebracht sind, stellt Fig. 57 vor.

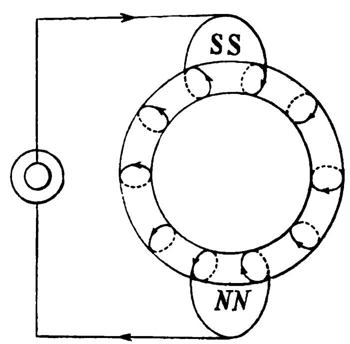


Fig. 59. Polbildungen in einem geschlossen bewickelten, kreisförmigen Elektromagnete.

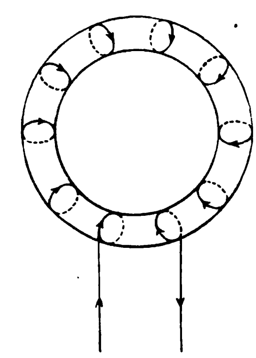


Fig. 60. Polbildung in einem offen bewickelten, kreisförmigen Elektromagnete.

Fig. 58 veranschaulicht den Verlauf der Kraftlinien eines doppelten Hufeisenmagnetes, zwischen dessen Polen NN und SS ein Eisenring angeordnet ist.

Gleichnamige doppelte Pole bezeichnet man als Folgepole.

Ein eiserner Ring, welcher, sowie es Fig. 59 darstellt, vom Strome umflossen wird, erhält bei SS einen doppelten Südpol, bei NN einen doppelten Nordpol. Diese Magnetisierungsverhältnisse zeigen die Ringe der elektrischen Maschinen und Motoren.

Ein Ring nimmt keine Pole an, wenn derselbe in der durch Fig. 60 angedeuteten Art vom Strome umflossen wird. Diese Anordnung gibt einen sogenannten pollosen Ring wieder, wie solche bei den meisten Transformatoren in der Elektrotechnik Verwendung finden.

Während in dem letzteren Ringe sämmtliche Kraftlinien im Eisen in der Richtung der Windungen verlaufen, findet bei der in Fig. 61 skizzierten Anordnung zwischen Wickelung und Eisenring Streuung statt.

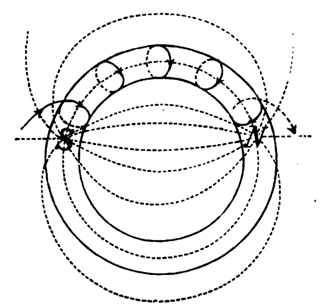


Fig. 61. Theilweise bewickelter Elektromagnet.

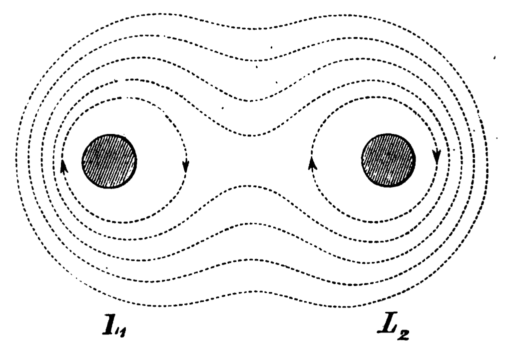


Fig. 65. Kraftlinienbild parallel und gleichgerichteter Ströme.

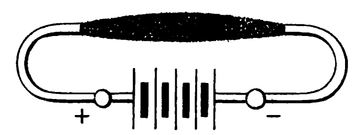


Fig. 62. Der Strom zieht Eisenfeilspäne an.

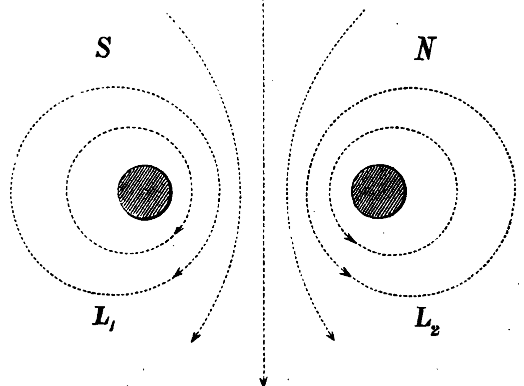


Fig. 66. Kraftlinien parallel und entgegengesetzt gerichteter Ströme.

Fig. 63. Kraftlinienbild eines aus der Zeichnungsebene austretenden Stromes.

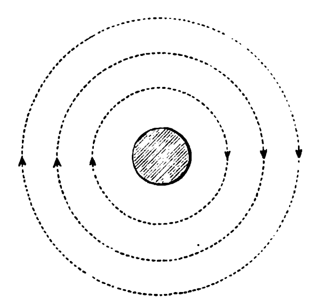


Fig. 64. Kraftlinienbild eines in die Zeichnungsebene eintretenden Stromes.

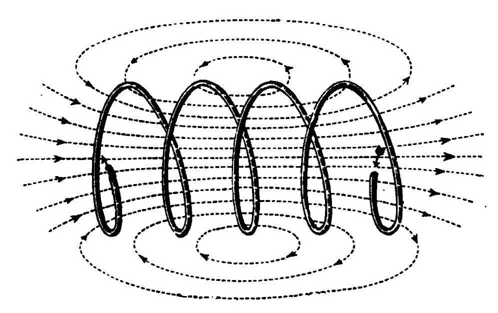


Fig. 67. Kraftlinienbild eines Solenoides.

Hier bilden sich bei N ein Nordpol, bei S ein Südpol und alle zwischen diesen Polen möglichen Verbindungen werden von Kraftlinien durchsetzt. Die meisten Kraftlinien verlaufen in dem geringeren Widerstande des Eisens; eine kleine Anzahl jedoch findet ihren Schluss durch die Luft. (Streuung der Kraftlinien).

62. Magnetische Felder der Ströme.

Ähnlich wie Magnete erzeugen Ströme magnetische Felder. Schaltet man, Fig. 62, in den Stromkreis einer Stromquelle einen Leiter ein, so zieht derselbe, ähnlich wie ein Magnet, Eisenfeilspäne an.

Die Kraftlinien eines geradlinig verlaufenden Stromes haben die in den Figuren 63 und 64 angegebene Richtung und lassen sich, sowie jene der Magnete, durch Eisenfeilspäne oder durch eine Magnetnadel nachweisen. Die zwei schraffierten Kreise in den Fig. 63 und 64 stellen Schnitte durch einen geradlinigen Leiter dar. In Fig. 63 tritt der Strom aus der Zeichnungsebene heraus, in Fig. 64 hat er die entgegengesetzte Richtung.

L_1 und L_2, Fig. 65, deuten zwei Schnitte zweier nebeneinander verlaufender Ströme oder zweier Theile eines und desselben Stromes an. Nach Früherem ziehen parallele und gleichgerichtete Ströme einander an. Eine ebensolche Wirkung findet zwischen den Magnetismen derselben statt. Da die Richtung der Kraftlinien, Fig. 65, der beiden Ströme dieselbe ist, müssen die zwischen den Leitern L_1 und L_2 gelegenen Kraftlinien die entgegengesetzte Richtung haben und einander anziehen.

Weiters stoßen nach Früherem parallele und entgegengesetzt gerichtete Ströme einander ab. Die beiden Ströme in L_1 und L_2, Fig. 66, erzeugen entgegengesetzt gerichtete Kraftlinien, so dass die zwischen den Leitern L_1 und L_2 liegenden Kraftlinien gleiche Richtung haben und einander abstoßen.

Das Bild der Kraftlinien eines kreisförmig geschlossenen Leiters ist in der Zeichnungsebene dasselbe wie dasjenige in Fig. 66. Bei S tritt der Strom in die Zeichnungsebene, bei N aus derselben. Zwischen den Leiterschnitten drängen sich die Kraftlinien, da sie gleichgerichtet sind, gegenseitig an den Leiter.

Das magnetische Feld eines Solenoides charakterisiert das in Fig. 67 wiedergegebene Schema. Diese Kraftlinien haben einen ähnlichen Verlauf wie jene eines Magnetstabes (Fig. 50).

63. Vergleich zwischen Strömen und Magneten.

Die wichtigsten Punkte des ähnlichen Verhaltens zwischen Strömen und Magneten sind demnach:

1. Magnete und Ströme senden magnetische Kraftlinien aus, deren Verlauf durch eine Magnetnadel oder durch Eisenfeilspäne leicht nachweisbar ist.

2. Vor einem magnetischen oder elektrischen Nordpole aus gesehen haben die Ampère'schen Molekularströme, beziehungsweise die elektrischen Ströme, die entgegengesetzte Richtung der Uhrzeigerbewegung, vor einem Südpole aus gesehen die Richtung der Uhrzeigerbewegung.

3. Ein von einem Strome durchflossener Draht zieht, ähnlich wie ein Magnet, Eisenfeilspäne an.

4. Ein von einem Strome durchflossenes Solenoid stellt sich, so wie eine Magnetnadel, in den magnetischen Meridian der Erde ein.

5. Ströme zeigen ein ähnliches Verhalten gegen einander wie Magnete; die Bilder der Kraftlinien nebeneinander befindlicher Stromspiralen gestalten sich ähnlich, wie jene ebenso angeordneter Magnete.

6. Parallel und gleichgerichtete Ströme ziehen einander an. Im Zusammenhange mit diesem Satze steht die Anziehung ungleichnamiger Magnetismen, beziehungsweise die Anziehung ungleichgerichteter Kraftlinien.

7. Parallel und entgegengesetztgerichtete Ströme stoßen einander ab. Dieser Satz steht im Zusammenhange mit der Thatsache, dass gleichnamige Magnetismen, beziehungsweise gleichgerichtete Kraftlinien einander abstoßen.

Da die Erde magnetisch ist, muss dieselbe in der Richtung von Ost nach West von elektrischen Strömen umflossen sein.

II. Elektrodynamische Induktion.

a) Strom- oder Voltainduktion.

64. Gegenseitige Induktion. Jeder elektrische Strom, z. B. der Strom im seidenumsponnenen Drahte der Hauptspule *H*, Fig. 68, erregt in dem Augenblicke, in welchem er geschlossen, geöffnet, gestärkt, geschwächt, bewegt oder seine Richtung gewechselt wird, in der Induktionsspule *J* durch gegenseitige Induktion Ströme, die sogenannten Neben- oder Induktionsströme. *U* in Fig. 68 stellt einen selbstthätigen Stromunterbrecher und Schließer (Neef'schen Hammer) vor, welcher wesentlich dieselbe Einrichtung wie das Läutewerk (§ 53, Fig. 42) besitzt.

Gesetze über die Richtung des durch den Hauptstrom in *H* erzeugten Induktionsstromes in *J*:

1. Das Schließen, Stärken des Stromes in *H*, die Bewegung von *H* gegen *J*, *J* gegen *H* oder die gleichzeitige

Bewegung von *H* gegen *J* und *J* gegen *H* erzeugen in *J* Induktionsströme von der entgegengesetzten Richtung des Hauptstromes in *H*.

2. Das Öffnen, Schwächen des Stromes in *H*, die Bewegung von *H* von *J* oder *J* von H oder die gleichzeitige Bewegung von *H* von *J* und *J* von *H* und der Richtungswechsel des Stromes (Wechselstrom) in *H* erzeugen in *J*

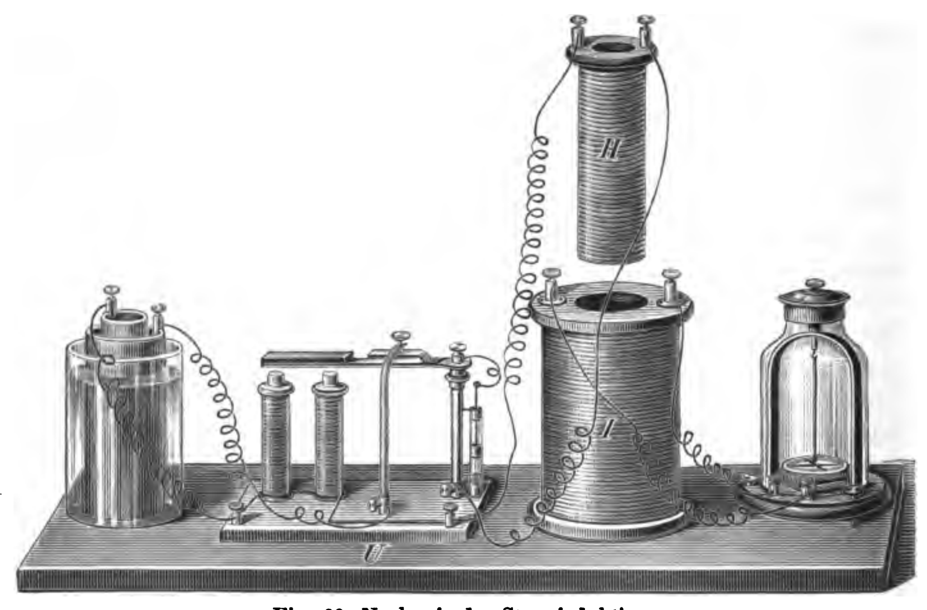


Fig. 68. Nachweis der Strominduktion.

Induktionsströme von der Richtung des Hauptstromes in *H*. Durch eine rasche Aufeinanderfolge des Schließens und Öffnens u. s. w. des Hauptstromes erhält man in *J* Induktionsströme von wechselnder Richtung, Wechselströme.

65. Selbstinduktion. Auch in der Hauptspule *H*, Fig. 68, entstehen beim Auftreten, Verschwinden, Stärken, Schwächen, der Bewegung oder dem Richtungswechsel des Stromes in *H* durch Selbstinduktion Ströme, welche den Schließungsschlag schwächen und den Trennungsschlag verstärken, die sogenannten Gegen- oder Extraströme.

Jeder Induktionsstrom dauert nur einen Augenblick.

Schließungsextraströme sind dem Haupt- oder primären Strome entgegengesetzt, Öffnungsextraströme gleichgerichtet.

Die Selbstinduktion hemmt demnach Stromänderungen, verlangsamt

das Anwachsen und Abfallen des Stromes. In der Telegraphie z. B. schwächen die Schließungsextraströme den Hauptstrom und verzögern das rasche Entstehen des zum Anzuge des Ankers der Apparate erforderlichen Magnetismus, also den Beginn des telegraphischen Zeichens, dagegen verzögern die Öffnungsextraströme das Verschwinden des hervorgerufenen Magnetismus und verlängern so das gegebene Zeichen.

Wo Ströme auftreten oder verschwinden, stärker, schwächer werden, ihre Richtung wechseln, wo Ströme oder Magnete oder Ströme und Magnete gegeneinander bewegt werden, entsteht eine elektromotorische Kraft der gegenseitigen oder Selbstinduktion im benachbarten und im eigenen Leiter, welche den inducierten Strom beeinflussen.

Es ist demnach die Ursache der Elektricitätbewegung eines durch gegenseitige oder Selbstinduktion erzeugten Stromes, sowie die Ursache jeder Elektricitätsbewegung überhaupt eine elektromotorische Kraft.

b) Induktion durch Magnete (Magneto- und Elektromagnetoinduktion).

66. Grundversuch. Ersetzt man in Fig. 68 die Hauptspule *H* durch ein Stück weiches Eisen[1]), einen Stahl- oder Elektromagnet *M*, Fig. 69, so werden in der Induktionsspule *J* ebenfalls Induktionsströme erzeugt. Während früher, Fig. 68, durch einen Strom ein Strom induciert wurde, induciert jetzt ein Magnet einen Strom.



Fig. 69. Nachweis der Induktion durch Magnete.

Für die Richtung der Induktionsströme gelten hier dieselben Gesetze, wie bei der Strominduktion, man braucht nur statt den oben angegebenen Ursachen der Stromerzeugung die den Richtungen der Ströme entsprechenden Richtungen der Molekularströme des Magnetes einzuführen.

Die beiden oben über die Richtung der Induktionsströme angege-

---

[1]) Jedes weiche Eisen hat einen, wenn auch ganz geringen Magnetismus (natürlichen Magnetismus).

benen Gesetze lauten dann mit Bezug auf Fig. 69 für die Magnetoinduktion folgend:

1. Das Magnetischwerden, Stärken des Magnetismus in *M*, die Bewegung von *M* gegen *J* oder *J* gegen M oder die gleichzeitige Bewegung von *M* gegen *J* und *J* gegen *M*, erzeugen in *J* Induktionsströme von der entgegengesetzten Richtung der Molekularströme in *M*.

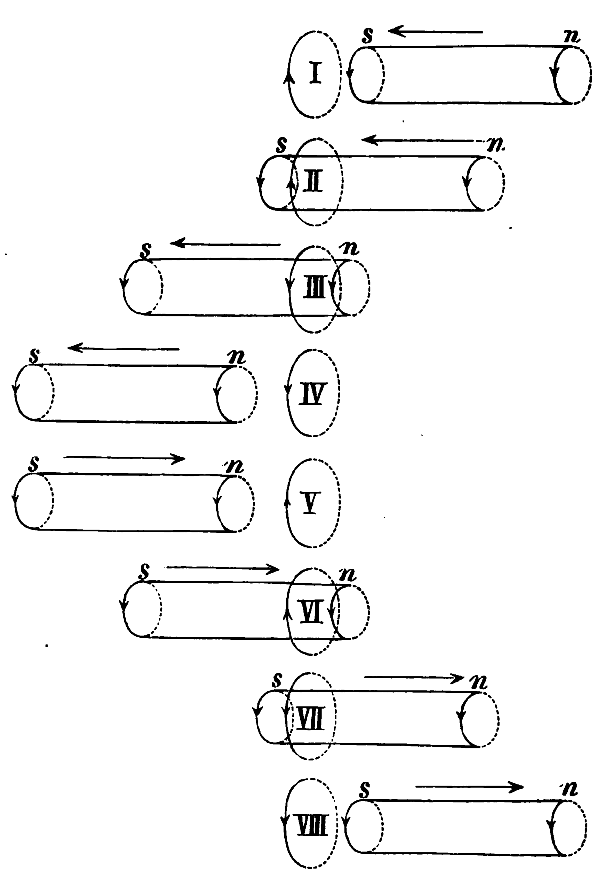


Fig. 70. Nachweis des Gesetzes nach Lenz.

2. Das Unmagnetischwerden, Schwächen des Magnetismus in *M*, die Bewegung von *M* von *J* oder *J* von *M* oder die gleichzeitige Bewegung von *M* von *J* und *J* von *M* und der Polwechsel des Magnetismus in *M*, erzeugen in *J* Induktionsströme von der Richtung der Molekularströme in *M*.

Dieselben Gesetze gelten ohne weiters für die Elektromagnetoinduktion. Für letztere Induktion gelten schließlich auch die Gesetze der Strominduktion, da ja der Elektromagnet ebenfalls eine Stromspule besitzt, welche denselben Verhältnissen unterworfen wird, wie die Hauptspule bei der Strominduktion. Der Elektromagnetismus wird durch einen Strom erregt. Zwischen Strom- und Elektromagnetoinduktion besteht nur der Unterschied, dass sich bei der letzteren in der Stromspule ein Eisenkern befindet, welcher die Wirkung der Spule verstärkt.

67. Das Gesetz nach Lenz.[1]) Obige Richtungen der durch die Bewegung von Magneten gegen eine Induktionsspule (Drahtwindungen) inducierten Ströme lassen sich weiters nach dem Gesetze von Lenz, welches folgendermaßen ausgesprochen werden kann, im Vorhinein bestimmen:

Bei der Bewegung geschlossener Leiter und Magnete, Fig. 70, entstehen Induktionsströme, welche die stattfindende Bewegung hemmen. (Bei Entfernung der Leiter und Magnete Anziehung, bei Näherung Abstoßung, § 58).

In Fig. 70 zeigen die über den Magneten gezeichneten Pfeile die Bewegungsrichtung der Magnete an. Schiebt man einen Pol des Magnetes *ns* in die Windung, z. B. in der Stellung *I*, so muss zwischen ihm und dem in der Spirale inducierten Strome Abstoßung stattfinden. Diese findet (§ 58) dann statt, wenn die Ströme im Südpole *s* und in der Windung *I* die entgegengesetzte Richtung haben. Hat man den Magnet bis in die Mitte der Windung hineingeschoben, so tritt Stromumkehr ein. Dann entfernt sich der Pol von der Windung, und Pol und Windung ziehen einander an.

In den Stellungen *I* und *II* wird in die Windung ein Südpol hineingeschoben (Abstoßung).

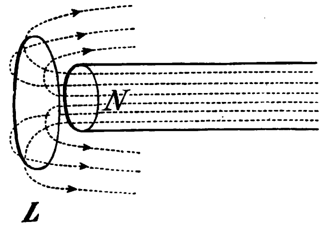


Fig. 71.
Stromdurchflossener Leiter *L* im magnetischen Felde.

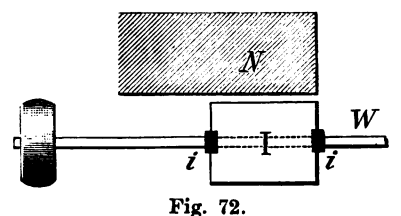


Fig. 72.
Einpolige magnetelektrische Maschine.

In den Stellungen *III* und *IV* wird aus der Windung ein Nordpol herausgezogen (Anziehung).

In den Stellungen *V* und *VI* wird in die Windung ein Nordpol hineingeschoben (Abstoßung).

In den Stellungen *VII* und *VIII* wird aus der Windung ein Südpol herausgezogen (Anziehung).

Mit Hilfe des Lenz'schen Gesetzes kann man nachweisen, dass der Magnetismus eines Stahlmagnetes durch das Abreißen eines Ankers verstärkt wird (Silv. P. Thompson).

---

[1]) Das Lenz'sche Gesetz wird am einfachsten mittelst des Apparates von Dr. von Waltenhofen nachgewiesen. Siehe Wiedem. Ann. 19, Seite 928, 1883; Centralblatt für Elektrotechnik 5, Seite 441, 1883; Zeitschrift für Elektrotechnik 1, Seite 314, 1883.

68. Gesetz nach Maxwell. Bringt man einen von einem Strome durchflossenen Leiter L, Fig. 71, in ein magnetisches Feld, so wird er jene Lage einzunehmen streben, bei welcher er die größtmögliche Anzahl der Kraftlinien umschließt. Der Leiter L wird sich deshalb so einstellen, wie es Fig. 50 anzeigt. In dieser Stellung umschließt er

1. die größte Anzahl der Kraftlinien und steht
2. so, dass die durch den Strom und das magnetische Feld erzeugten Kraftlinien gleichgerichtet sind.

Anwendung der Induktion durch Magnete: Magnet- und dynamoelektrische Maschinen und Motoren[1]), Funkeninduktor von Ruhmkorff, Transformator und Telephon.

69. Magnetelektrische Maschine. Anstatt den Magnetpol gegen die Induktionsspule zu bewegen, Fig. 69, kann man eine Induktionsspule oder eine oder mehrere Windungen vor einem Magnetpole rotieren lassen, Fig 72.

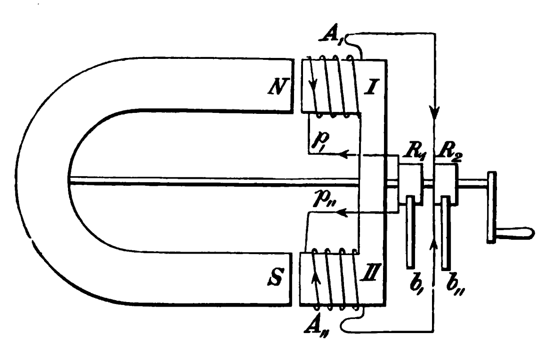


Fig. 73. Magnetelektrische Maschine mit nebeneinander geschalteten Induktor-Windungen.

Ist die Windung J bei i i isoliert auf der Welle W befestigt und lässt man die Welle rotieren, so wird in der Windung J ein elektrischer Strom erzeugt. Diese Anordnung stellt im Wesen eine einpolige magnetelektrische Maschine dar. Die Wirkung wird verstärkt, wenn man dem Nordpole N, Fig 72, gegenüber einen Südpol S, Fig. 73 und Fig. 74, anbringt; dann übergeht die einpolige magnetelektrische Maschine in die zweipolige.

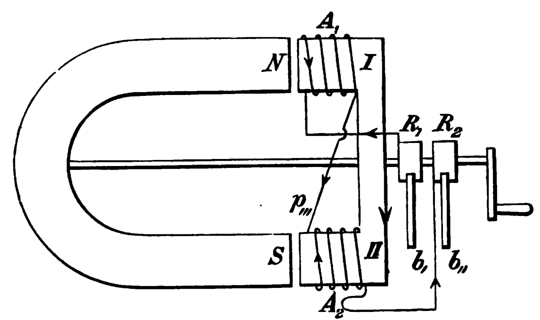


Fig. 74. Magnetelektrische Maschine mit hintereinander geschalteten Induktor-Windungen.

Nach Faraday (1831) sind diese Maschinen von Dal Negro,

---

[1]) Die pyromagnetischen Maschinen, welche durch die Veränderlichkeit der Leitungsfähigkeit des Eisens mit der Temperatur Induktionsströme erzeugen, sollen hier nicht ausführlicher besprochen werden.

Pixii (1832), Saxton (1833), Ettinghausen (1837), Stöhrer (1849, sechspolige Maschine) und Anderen gebaut worden. Holmes hat die erste zur Erzeugung des elektrischen Lichtes im Großen angewendete Maschine konstruiert; die sogenannte Alliance Wechselstrommaschine ist eine Abänderung der letztgenannten Maschine und wurde schon im Jahre 1864 zur Erzeugung des elektrischen Lichtes in Leuchtthürmen (La Hève, Griz-Nez bei Calais, Kronstadt, Odessa u. s. w.), auf Schiffen, zu Fabriksbeleuchtungen u. s. w. verwendet.

Fig. 73 stellt die magnetelektrische Maschine von Pixii (1832), mit nebeneinander, Fig. 74 mit hintereinander geschalteten Induktor-Windungen dar. Die Maschine von Pixii besteht aus zwei mit einander durch die eiserne Armatur von I bis II verbundenen Eisenkernen dem Induktor $A_{,} A_{,,}$ welcher mit isoliertem Drahte bewickelt ist. Durch Rotation des Induktors vor den Polen des Hufeisenmagnetes NS oder durch Rotation des letzteren vor dem Induktor $A_{,} A_{,,}$ (Saxton 1833, Clarke 1836) werden in den Windungen $A_{,}$ und $A_{,,}$ elektrische Ströme induciert.

Nach dem Vorgange der magnetischen Influenz (§ 58, Fig. 49) sind die Ampère'schen Molekularströme im inducierenden und inducierten Eisen einander entgegengesetzt gerichtet. Die Stromrichtung ergibt sich deshalb aus folgender Regel:

Die in dem Induktor erzeugten Ströme haben die entgegengesetzte Richtung zu den Molekularströmen, in deren magnetischem Felde sie sich befinden.

Rotiert in Fig. 73 der Induktor, von den Ringen R_1 R_2 aus gesehen, im Sinne der Bewegung eines Uhrzeigers, so wird in den Windungen $A_{,,}$, während dieselben hinter der Zeichnungsebene aus dem magnetischen Felde des Nordpoles N in das des Südpoles S übergehen, ein Polwechsel im Induktoreisen stattfinden und da jetzt dem Südpole S gegenüber in $A_{,,}$ ein Nordpol entsteht, ein Strom in der Richtung des Pfeiles $p_{,,}$ erzeugt; gleichzeitig bewegt sich der Induktortheil $A_{,}$ vor der Zeichnungsebene von S nach N und der in seinen Windungen inducierte Strom hat, da sein Eisenkern südmagnetisch wird, die Richtung des Pfeiles p_1; bei einer weiteren halben Umdrehung des Induktors werden die in den-

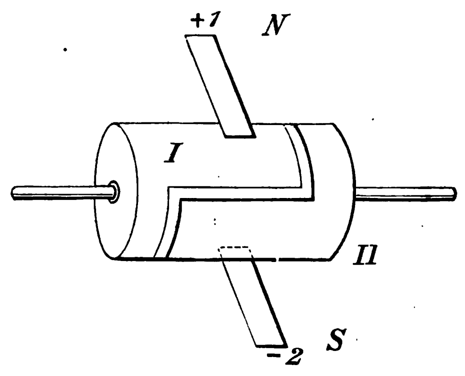


Fig. 75. Gleichstrom-Kommutator.

selben Windungen inducierten Ströme die entgegengesetzte Richtung haben (Wechselstrom).

Bei entgegengesetzten Umdrehungsrichtungen sind auch die Stromrichtungen entgegengesetzt.

Gleichgerichtete Ströme erhält man durch Anwendung eines Kommutators *I* und *II*, Fig. 75, anstatt der Ringe R_1 und R_2, Fig. 73 und 74. Der Kommutator *I II* besteht aus den zwei von einander isolierten Theilen *I* und *II*. Bei der ersten halben Umdrehung ist die Stromrichtung z. B. durch den austretenden Strom + 1 u. den eintretenden Strom — 2 gegeben. Bei der zweiten halben Umdrehung ist die Stromrichtung die entgegengesetzte, und da jetzt die Bürsten + 1 und — 2 auf den entgegengesetzten Kommutatortheilen schleifen, erhält + 1 wieder positiven, — 2 wieder negativen Strom (Gleichstrom).

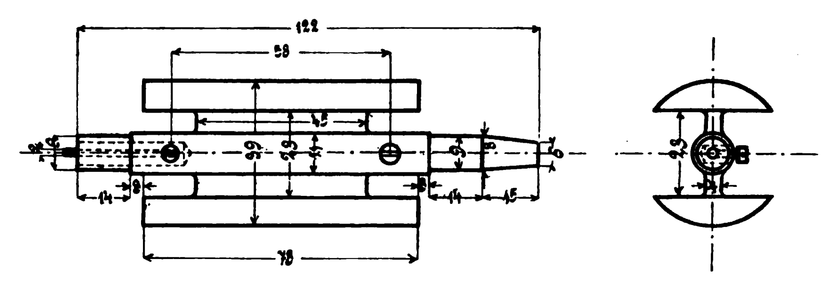


Fig. 76. Doppel-T-Anker, Längsschnitt.

Fig. 77. Doppel-T-Anker, Querschnitt.

Aus den Fig. 73 und 74 ist es ersichtlich, dass sich der Induktor *A, A,,* nur kurze Zeit in einem magnetischen Felde (vor den Polen) befindet. Eine Verbesserung zeigten die mehrpoligen magnetelektrischen Maschinen, bei welchen drei oder mehrere Hufeisenmagnete auf drei oder mehrere rotierende Induktoren inducierend wirkten (Stöhrer's Maschine, Alliancemaschine).

Der erste Induktor, welcher immer in einem magnetischen Felde rotiert, ist der Doppel-T-Anker von Werner v. Siemens (1857), Fig. 76 und 77[1]); derselbe besteht aus einem Eisencylinder mit zwei einander gegenüberliegenden Längsrinnen, welchen man sich aus lauter übereinander befestigten Doppel-T-förmigen Eisenblechen, Fig. 77, ent-

[1]) Diese Figuren stellen eine Konstruction der Firma Czeija, Nissl & Co. in Wien vor. Die Maße sind in *mm* gegeben. Der Kupferdrahtdurchmesser der Wickelung beträgt 0·1 *mm*, der Gesammtwiderstand rund 1000 Ω. Der Induktor liefert den zum Anrufe in Telephonstationen erforderlichen Strom (etwa 4 Volt). Das magnetische Feld besteht aus 3 Hufeisen-Stahlmagneten.



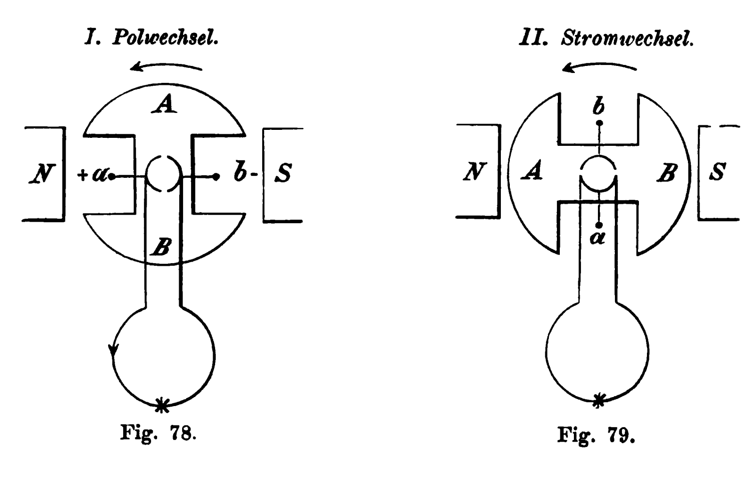


Fig. 78. Fig. 79.

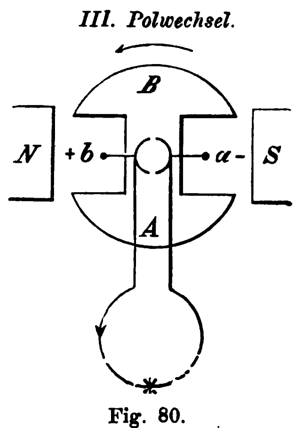


Fig. 80.

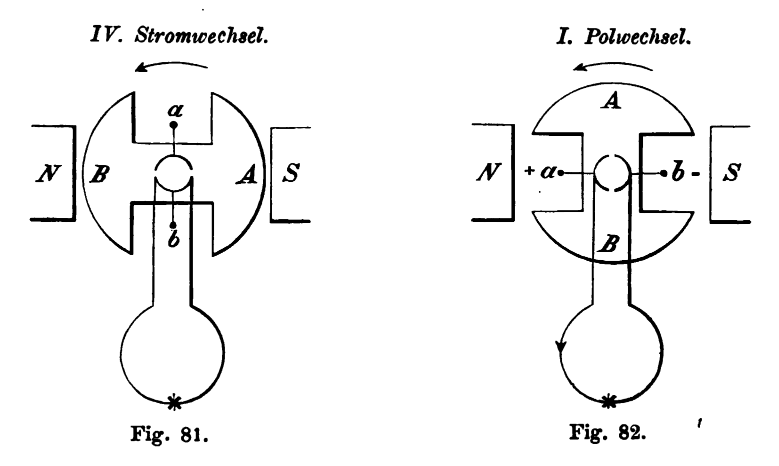


Fig. 81. Fig. 82.

Fig. 78 bis 82. Bewegungsphasen des Induktors einer magnetelektrischen Maschine.

standen denken kann. Der Doppel-T-Anker wird auch Cylinderinduktor genannt.

In den folgenden Fig. 78 bis 82 sind die den verschiedenen Viertelumdrehungen dieses Induktors entsprechenden Stellungen desselben sammt Stromrichtungs-, Strom- und Polwechselanzeige zum Ausdrucke gebracht.

+ bedeutet einen austretenden Strom,

— " " eintretenden Strom, die Punkte *a* und *b* deuten die Ankerwindungen an, die Pfeile machen die Umdrehungsrichtungen ersichtlich.

Wenn die Windungen senkrecht übereinander liegen, findet Stromwechsel, wenn dieselben horizontal nebeneinander liegen, Polwechsel statt.

Die Bürsten schleifen

1. auf zwei Ringen, wie in Fig. 73 und 74 (Wechselstrom), oder

2. auf einem Kommutator, Fig. 75 (Gleichstrom).

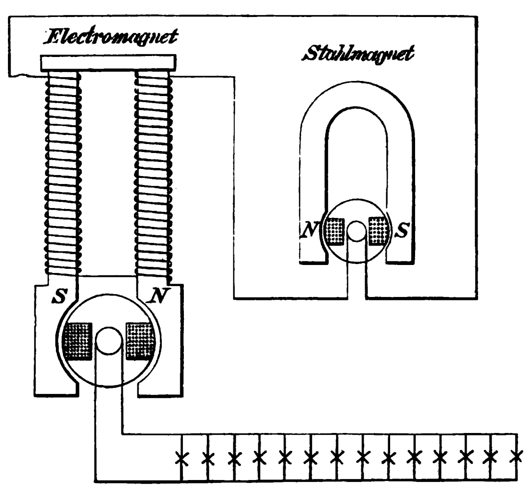


Fig. 83. Elektrische Maschine mit gesondert erregten Magneten.

Der Doppel-T-Anker nimmt in der Geschichte der Lichtmaschinen eine hervorragende Stellung ein. Derselbe stellte nicht nur die beste Ankerform der magnetelektrischen Maschinen mit Dauermagneten dar, sondern fand auch bei der ersten elektrischen Maschine mit separater Erregung (Wilde) und bei der ersten dynamoelektrischen Maschine (Werner von Siemens) als Induktor Anwendung.

Die Maschinen mit Dauermagneten muss man von Zeit zu Zeit zerlegen, um die Magnete nachzumagnetisieren; schon von Hjorth (1854), Sinsteden (1861) und Anderen wurde zu diesem Zwecke eine dynamoelektrische Selbsterregung angewendet, indem die Dauermagnete (Stahlmagnete, Hufeisenmagnete, permanente Magnete) mit isolierten Windungen umgeben und in den Stromkreis der Maschine eingeschaltet wurden.

Der Doppel-T-Anker gibt nur zeitweise (periodische) Ströme, weil die Windungen nicht auf der ganzen Oberfläche des Ringes angebracht sind; ununterbrochene (continuierliche) Ströme liefern die später zu beschreibenden Ring-, Trommel- und anderen Anker.

70. Elektrische Maschinen mit gesondert (separat) erregten Magneten (Wilde 1863), Fig. 83. Die Hauptbestandtheile dieser Maschine sind:

1. Eine Induktionsmaschine mit Elektromagneten, welche den Außenstrom erzeugt.

2. Eine Induktionsmaschine mit Stahlmagneten oder eine Stromquelle (z. B. Batterie), welche zur Erregung der Elektromagnete der ersten Induktionsmaschine in die Magnetwindungen derselben eingeschaltet ist. In der Maschine von Wilde waren beide Induktoren Siemens'sche Doppel-T-Anker.

71. Dynamoelektrischer Grundsatz.

Die magnetelektrischen Maschinen zeigen insbesondere zwei Übelstände:

1. Die Kosten der Erzeugung stellen sich sehr hoch. Eine Maschine für halbwegs große Leistungen hat im Verhältnis zu ihrer Nutzarbeit sehr große Abmessungen.

2. Die Magnete müssen von Zeit zu Zeit nachmagnetisiert werden.

Dem zweiten Übelstande wurde theilweise dadurch abgeholfen, dass man die Stahlmagnete mit Wickelungen versah, die das Nachmagnetisieren erleichterten. Während man früher die Maschinen zerlegen musste, um die Stahlmagnete wieder auf die Höhe ihrer Leistung zu bringen, konnte jetzt durch die Wickelungen Strom geschickt und so einfacher die Nachmagnetisierung besorgt werden.

Die elektrische Maschine mit fremd erregten Magneten von Wilde, Fig. 83, ermöglichte wohl die Erzeugung der Elektricität in jeder gewünschten Stärke, besaß jedoch immer noch den Nachtheil, einer fremden Stromquelle zur Erregung des wirksamen Magnetismus zu bedürfen.

Dieses Hindernis, welches sich der Verwendung der Elektricität für die Zwecke des praktischen Lebens entgegenstellte, beseitigte im Jahre 1867 Werner von Siemens durch die hervorragendste Erfindung auf dem Gebiete der Starkstromelektrotechnik, durch die Erfindung der Selbsterregung der elektrischen Maschinen. Werner von Siemens wies nach, dass ein einmaliges Magnetisieren der Eisenkerne von Elektromagneten genügt, um die elektrische Maschine ohne fremde Stromquelle in Thätigkeit zu setzen, nannte diese Selbsterregung den dynamoelektrischen Grundsatz und die nach diesem Grund-

satze zuerst von ihm gebauten Maschinen „Dynamoelektrische Maschinen und Motoren".

72. Gleichstrom-Dynamomaschine.

Die dynamoelektrischen Maschinen, auch kurz Dynamo-(Kraft-) Maschinen genannt, erzeugen elektrische Ströme durch mechanische Kraft.

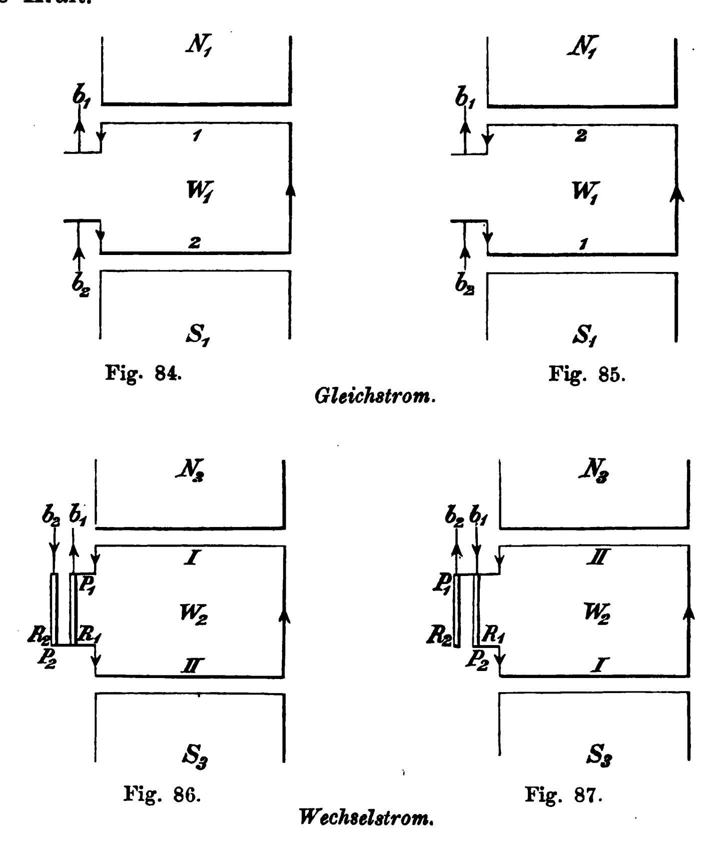


Fig. 84. Fig. 85.

Gleichstrom.

Fig. 86. Fig. 87.

Wechselstrom.

Durch die Rotation der geschlossenen Windung, Fig. 84, zwischen den Elektromagnetpolen entsteht, da jedes weiche Eisen natürlichen Magnetismus[1]) besitzt, in der Windung ein elektrischer Strom von ganz geringer Stärke. Dieser Strom (Serienmaschine) oder ein Theil desselben (Nebenschlussmaschine) wird durch die Windungen des Elektro-

[1]) Falls der natürliche Magnetismus des Eisens unzulänglich ist, genügt ein einmaliges Magnetisieren desselben von einer fremden Stromquelle aus. War die Dynamo bereits im Betrieb, dann besitzt sie zurückbleibenden Magnetismus und dieser genügt zur Erregung.

magnetes geschickt und verstärkt den Magnetismus desselben; durch den kräftigeren Elektromagnet wird in der Windung wieder ein stärkerer Strom induciert u. s. w. Schon nach einigen Sekunden erreicht der Strom in der Windung (beziehungsweise in den Windungen) seine volle Stärke.

In den Figuren 84 bis 92 bezeichnen die Buchstaben N Nordpole, die Buchstaben S Südpole, die Pfeile U die Richtungen der Umdrehungen der Induktoren, die stark markierten Punkte feste Verbindungen, die übrigen Pfeile Richtungen der inducierten Ströme.

Die Erzeugung des Stromes in einer dynamoelektrischen Maschine erfolgt dadurch, dass geschlossene Leiter, z. B. die Windungen W_1 W_1, Fig. 84 und Fig. 85, in einem magnetischen Felde (in der Nähe eines Eisenkörpers), N_1 S_1 rotieren (Faraday 1831). Dabei müssen sich die Windungen so bewegen, dass sie von den Kraftlinien des Feldes geschnitten werden. Jedes Eisen besitzt von Natur aus einen bestimmten minimalen Magnetismus. Stellen z. B. N_1 und S_1, Fig. 84, N_1 und S_1, Fig. 85, N_3 und S_3, Fig. 86, und N_3 und S_3, Fig. 87, die Pole eines Eisenkörpers dar und es rotieren die Windungen W_1 W_1, Fig. 84 und 85, W_2 W_2, Fig. 86 und 87, zwischen denselben, so wird in ihnen ein Strom induciert, dessen Richtung sich in sehr einfacher Weise nach dem Gesetze von Lenz, nach den praktischen Regeln von Ampère, Faraday, J. A. Fleming,[1]) A. von Waltenhofen[2]) und nach einer von mir[3]) angegebenen Regel bestimmen lässt. Die letzte Regel lautet:

„Bei Linkslauf einer elektrischen Maschine haben Kraftlinien und Strom an den Stirnflächen des Induktors dieselbe (bei Rechtslauf die entgegengesetzte) Richtung.“

Auf den Enden der Windungen W_1 W_1, Fig. 84 und 85, den Kollektorlamellen, schleifen die Bürsten b_1 und b_2, Fig. 84 und b_1 und b_2, Fig. 85. Die in den Figuren 84—87 eingezeichneten Stromrichtungspfeile zeigen die Stromrichtungen an den Stirnflächen der Windungen und an den Bürsten der obigen Regel entsprechend an, vorausgesetzt den Linkslauf der Windungen (der Induktoren), von den Bürsten aus gesehen.

Hat z. B. die Windung W_1, Fig. 84, von den Bürsten b_1 und b_2 aus gesehen, Linkslauf, so bewegt sich der Theil 1 derselben aus der

---

[1]) Dr. J. A. Fleming, The Electrician, 14. Band, Seite 396.

[2]) Dr. A. von Waltenhofen, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1887, Seite 263 ff.

[3]) Kratzert, Elektrotechnische Rundschau, Frankfurt a./M., Jahrg. 1893, Heft 16; Elektrotechniker, Wien XII. Jahrg., Seite 569; Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien 1893, Seite 242; Bulletin de la Société internationale des électriciens, Tome X. Juin 1893, Seite 308; Elektrotechnischer Anzeiger, Berlin 1893, Nr. 74.

Zeichnungsebene hinter dieselbe. Das magnetische Feld ist immer vom Nordpole zum Südpole gerichtet (die Kraftlinien fließen immer außerhalb des Magnetes von Nord nach Süd), und da die Windung Linkslauf hat, muss der Strom an der vorderen Stirnfläche ebenfalls von dem Nordpole nach dem Südpole (in derselben Richtung) fließen.

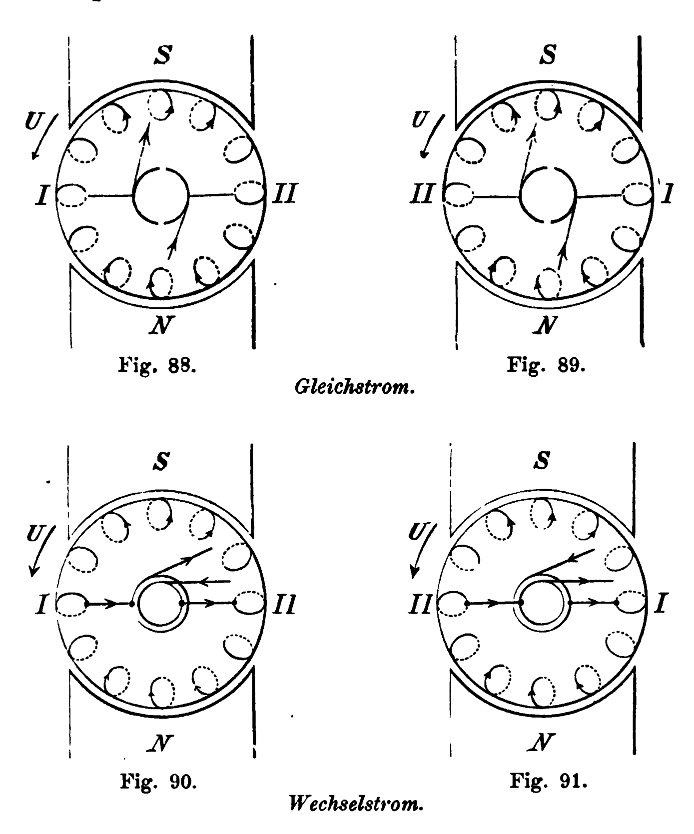


Fig. 88. Fig. 89.

Gleichstrom.

Fig. 90. Fig. 91.

Wechselstrom.

Sieht man den Induktor von der den Bürsten entgegengesetzten Seite an, so hat die Maschine Rechtslauf, und in Übereinstimmung damit fließt der Strom an der rückwärtigen Stirnfläche von Süd nach Nord, also in der entgegengesetzten Richtung wie die Kraftlinien.

In Fig. 84 tritt der Strom an der Bürste b_1 aus, an der Bürste b_2 ein. Denken wir uns nun die Windung W_1, Fig. 84, um 180° gedreht, so dass sich der Theil 1 der Windung W_1 vor S_1 und der Theil 2 derselben Windung vor N_1, sowie es in Fig. 85 dargestellt ist, befindet, so wird der an den Bürsten b_1 und b_2 abgenommene Strom wieder dieselbe Richtung haben wie vor der Drehung, Fig. 84. In den Theilen 1 und 2 der Windung W_1, Fig. 85, wird jetzt der ent-

gegengesetzt gerichtete Strom erzeugt, da jedoch die Bürsten mit den Enden der Windung W_1 nicht fest verbunden sind und jetzt b_1 auf 2 schleift, hat der Strom in der Bürste b_1 die frühere Richtung.

Dreht man die Windung W_1 aus der in Fig. 85 gegebenen Stellung um 180° weiter, dann gilt wieder das für Fig. 84 Gesagte und das Spiel der Stromerzeugung und Abnahme wiederholt sich in der oben beschriebenen Weise.

Die Stromrichtung an den Bürsten bleibt immer dieselbe, jede Bürste erhält immer von demselben Pole Strom, Gleichstrom.

73. Wechselstrom-Dynamo.

In den Fig. 86 und 87 stellen R_1 und R_2 Schleifringe dar, welche mit den Theilen I und II der Windung W_2 W_2 in den Punkten P_1 und P_2 fest verbunden sind. Befindet sich Fig. 86, der Theil *I* der Windung W_2 vor N_3, dann fließt der Strom an der Bürste b_1 in der eingezeichneten Richtung; derselbe Theil steht nach einer halben Umdrehung vor S_3, und es erhält der Strom an der Bürste b_2, Fig. 87, die entgegengesetzte Richtung. Ebenso wechselt die Stromrichtung an der Bürste b_2. Der durch Schleifringe abgenommene Strom wechselt also nach jeder halben Umdrehung der Windung (des Induktors) seine Richtung, die Schleifringe und Bürsten empfangen nach jeder halben Umdrehung Strom von den entgegengesetzten Polen, Wechselstrom (alternierender, undulatorischer, periodischer, pendulärer, harmonischer oder Wellenstrom).

In den Fig. 88 und 89 ist, sowie in den Fig. 84 und 85, die Abnahme von Gleichstrom, in den Fig. 90 und 91, sowie in den Fig. 86 und 87, die Abnahme von Wechselstrom versinnlicht. Die Figuren 84 und 85 und die Fig. 88 und 89 stellen jedoch zwei aufeinander senkrechte Schnitte des Induktors dar. In den Fig. 84 bis 87 ist der Induktor als Trommel, in den Fig. 88 bis 91 als Ring gedacht.

Nimmt man anstatt von zwei, von mehreren Punkten, z. B. drei Punkten, durch drei Schleifringe Strom ab, so erhält man drei Wechselströme. Da diese drei Ströme an drei verschiedenen Stellen des magnetischen Feldes abgenommen werden, so müssen sie zu gleicher Zeit verschiedene Stärke, verschiedene Phase haben; man nennt sie deshalb Ströme von verschiedener Phase oder Mehrphasenströme.

Die drei koncentrischen Kreise der Fig. 92 bedeuten 3 Schleifringe, welche durch die Anschlüsse 1, 2 u. 3 mit drei in der Zeichnung um

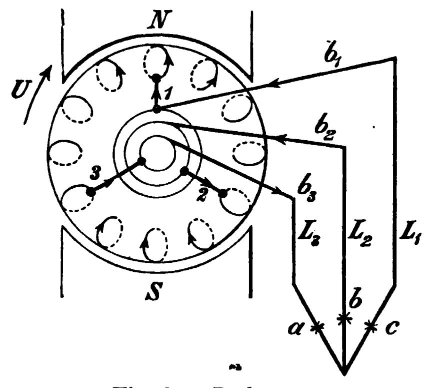


Fig. 92. Drehstrom.

120° von einander abstehenden Punkten der Ankerwickelung verbunden sind. Auf den 3 Schleifringen schleifen die Bürsten b_1, b_2 u. b_3. Die 3 Hauptleitungen des Systemes sind mit den Buchstaben L_1, L_2 u. L_3 bezeichnet.

Nimmt man bei einer Wechselstrommaschine anstatt von 2, von mehreren Punkten der Induktor-Windungen, z. B. von 3 Punkten, durch 3 Schleifringe Strom ab, so wie es Fig. 92 veranschaulicht, so erhält man 3 Wechselströme u. zw.:

1. einen Wechselstrom zwischen den Bürsten b_1 u. b_2,
2. „ „ „ „ „ b_2 u. b_3,
3. „ „ „ „ „ b_1 u. b_3.

Da diese drei Ströme an drei verschiedenen Stellen der Ankerwindungen abgenommen werden, so müssen sie zu gleicher Zeit verschiedene Stärke (verschiedene Phase) haben; man nennt sie deshalb Ströme von verschiedener Phase oder Mehrphasenströme. Für drei Wechselströme verschiedener Phase kann man drei vollständige getrennte Leitungen — Sechs-Leiter — oder der Fig. 92 entsprechend, sogenannte verkettete Leitungen — Drei-Leiter — verwenden. Wendet man sechs Leitungen an, dann führen von jeder Bürste zwei Leitungen zu den Lampen, und die Lampen sind zwischen je zwei aufeinanderfolgende Bürsten eingeschaltet.

Die Magnete der ein- und mehrphasigen Wechselstrommaschinen werden in der Regel durch Gleichstrommaschinen erregt (magnetisiert). Seltener wird bei Wechselstrommaschinen der Strom eines Theiles der Ankerwindungen als Gleichstrom abgenommen und zur Erregung der Magnete verwendet. Die Gleichstrommaschinen erregen sich dadurch selbst, dass ein Theil (Nebenschlussmaschine) oder der ganze Ankerstrom (Reihenmaschine) die Magnetwickelungen durchfließt, oder dadurch, dass der Elektromagnet eine Nebenschluss- und eine Reihenwickelung (Maschine mit gemischter Schaltung) erhält.

74. Elektromotoren.

Bewegt man einen geschlossenen Leiter innerhalb eines magnetischen Feldes, so dass er die Kraftlinien desselben schneidet, dann entstehen in demselben elektromotorische Kräfte, welche eine Elektricitätsbewegung

herbeiführen. Die Magnete magnetisieren den Anker so, dass vor dem Nordpole des Magnetes ein Südpol und vor dem Südpole des Magnetes ein Nordpol im Ankereisen entsteht. Diese Pole des Ankers liegen (abgesehen von einer später zu beschreibenden Verschiebung, welche durch die Rückwirkung des Magnetismus des Ankers auf den der Magnete hervorgerufen wird) in der magnetischen Achse (Verbindungslinie der Pole) der Elektromagnete. Der im Anker inducierte Strom erzeugt magnetische Pole im Ankereisen, welche auf den durch die Magnete erzeugten senkrecht stehen.

Schickt man in den Anker Strom (§ 59, Fig. 60), so wird derselbe den Anker ebenfalls magnetisieren und zwar derart, dass dort, wo der Strom in die parallel geschalteten Ankerwindungen eintritt, ein Süd-Süd- und diametral gegenüberliegend ein Nord-Nordpol entstehen. Sind die Elektromagnete gleichfalls vom Strome umflossen, so muss zwischen den Anker- und Magnetpolen eine Wechselwirkung eintreten. Der Anker-Südpol wird vom Magnet-Nordpole angezogen, vom Magnet-Südpole abgestoßen, der Anker-Nordpol dagegen wird vom Magnet-Nordpole abgestoßen und vom Magnet-Südpole angezogen. Weil sich diese gegenseitigen Wechselwirkungen summieren, muss eine Bewegung des Ankers eintreten, welche eine mechanische Leistung erzeugt.

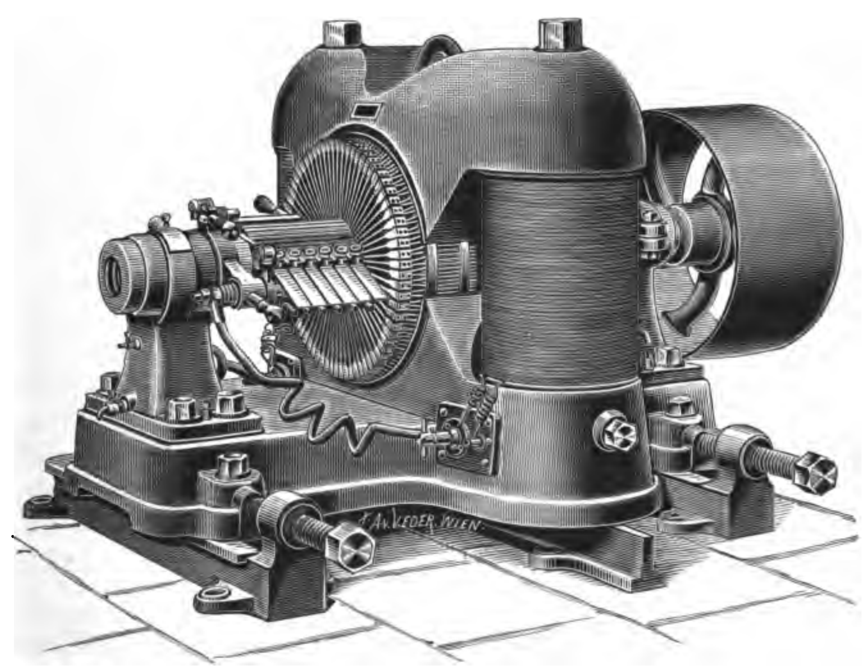


Fig. 93. Dynamo der Oesterr. Schuckert-Werke.

Treibt man demnach eine Dynamomaschine an, so gibt dieselbe Strom (Dynamomaschine), schickt man in eine Dynamo Strom, so lauft dieselbe an und erzeugt Kraft (Elektromotor).

Fig. 93 stellt eine Dynamo der Oesterr. Schuckert-Werke dar. Treibt man die Dynamo an, so wird in dem inneren rotierenden Theile (Anker) Strom erzeugt, den man an den Bürsten abnehmen kann. Im Bilde sind 6 nebeneinander befindliche Bürsten ersichtlich, welche auf dem Stromabnehmer aufliegen. Gegenüber diesen 6 Bürsten (z. B. + Pol) liegen (in der Fig. nicht ersichtlich) ebenfalls 6 Bürsten (z. B. — Pol). Je 6 Bürsten bilden einen Pol der Dynamo, von welchen aus der Strom in die Leitungen geschickt wird.

75. Funkeninduktor nach Ruhmkorff. Der in Fig. 68 dargestellte Induktionsapparat mit dem selbstthätigen Stromunterbrecher (Neef'schen Hammer) stellt, wenn die Hauptspule *H* mit einem Eisenkern versehen ist, den sogenannten Funkeninduktor nach Ruhmkorff (1851) ohne Kondensator dar. Die Wickelung der Hauptspule besteht aus wenig Windungen eines dicken Drahtes, die der Induktionsspule aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes.

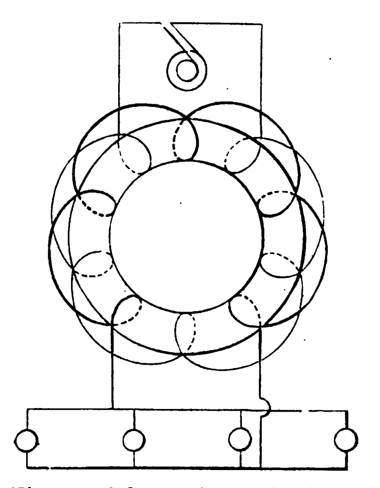


Fig. 94. Schema einer Beleuchtungsanlage (Wechselstrommaschine) Transformator und Lampen.

Anwendung: Erzeugung von Lichterscheinungen, Minen- und Torpedozündung, Elektrisieren des menschlichen Körpers (Elektromedizin) u. s. w.

76. Transformator. Eine Umkehrung des Grundsatzes des Funkeninduktors stellt der Transformator dar; der Eisenkern desselben ist in der Regel kreisförmig geschlossen, Fig. 94. Im Gegensatze zum Funkeninduktor besteht hier die Hauptspule aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes und die Induktionsspule aus wenig Windungen eines dicken Drahtes. Der Transformator mit kreisförmig geschlossenem Eisenkerne geht aus dem Funkeninduktor dadurch hervor, dass man dessen Eisenkern kreisförmig schließt.

Anwendung des Transformators in der Elektrotechnik: Beleuchtung und Kraftübertragung mittelst Wechselstrom.

77. Das Telephon, Fig. 95, besteht aus einem Stahlmagnete N_1 S_1 auf der Station *I*, welcher mit einer Spule umgeben ist. Vor dem Mag-

nete befindet sich ein weiches, dünnes Eisenblech E_1. — Durch magnetische Influenz[1]) wird in dem Eisenbleche E_1 Magnetismus erzeugt. Spricht man nun gegen das Eisenblech E_1 auf der Station *I*, so wird dasselbe bewegt und in der Spirale über $N_1 S_1$ ein Strom induciert, welcher durch den Verbindungsdraht nach der Station *II* fließt, so zwar,

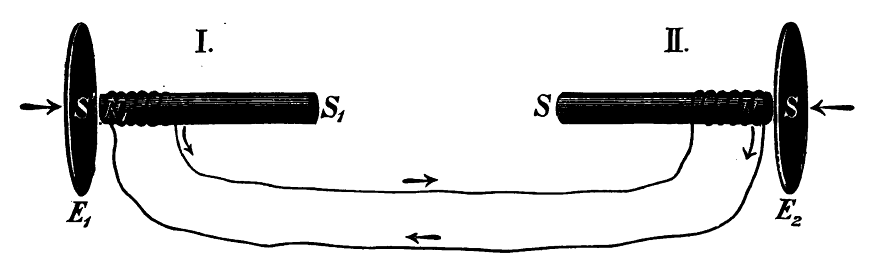


Fig. 95. Zwei miteinander verbundene Telephonstationen.

dass er den Pol N_2 verstärkt. Dadurch wird das Eisenblech E_2 auf der Station *II* angezogen. Das Telephon überträgt demnach die Bewegungen des Eisenbleches von einer Station auf eine zweite. Die Schwingungen des Eisenbleches E_2 theilen sich der Luft mit, und so hört man das auf der Station *I* Gesprochene.

Das Mikrophon (Hughes, 1878) ist ein loser Kohlenkontakt, bestehend aus einem Kohlenstäbchen, welches durch zwei Kohlenstücke getragen wird. In den Stromkreis einer Batterie schaltet man auf einer Station ein Mikrophon (Sprechapparat, Transmitter), auf einer zweiten Station ein Telephon (Hörapparat). Spricht man gegen das Kohlenstäbchen, so wird der Kontakt zwischen diesem und den Kohlenstücken und damit der Widerstand und die Stromstärke geändert, so dass man im Telephon das Gesprochene hört. Zur Verstärkung der Wirkung schaltet man Batterie und Mikrophon in primäre Windungen eines Elektromagnetes, dessen Eisenkern aus einem Drahtbündel besteht; in den sekundären Windungen arbeitet das Hörtelephon (Blake, Berliner).

Der Phonograph nach Edison (1877), das Graphophon nach Tainter und das Grammophon nach E. Berliner bestehen

---

[1]) **2. Erklärung: Jedes weiche Eisen besitzt auch von Natur aus Magnetismus (§ 55 und 72); bewegt man dasselbe vor einer Spirale, so werden in derselben Ströme induciert.**

3. Erklärung: Bewegt man das Eisenblech in dem magnetischen Felde, so erleidet das letztere Änderungen und es entsteht in den Windungen ein Induktionsstrom (§ 66).

Diese 3 Erklärungen enthalten 3 Ursachen der Elektricitätserregung (magnetische Influenz, natürlicher Magnetismus, Änderungen des Magnetismus), die sich wohl gegenseitig verstärken und die große Empfindlichkeit des Telephons bedingen.

aus einem Telephon, dessen Eisenblech mit einer Schreibvorrichtung in Verbindung steht. Ein Schreibstift schreibt auf einer Walze (Edison und Tainter) oder auf einer Scheibe (Berliner), deren Oberflächen mit einer eigenen Masse vorbereitet sind. Die Walze rotiert und bewegt sich in der Längsrichtung, so dass der Stift eine Schraubenlinie aufzeichnet. Man kann nun zu jeder beliebigen Zeit das Gespräch wiedergeben, indem man die Walze in Thätigkeit setzt. Der Stift durchläuft die eingezeichnete Kurve und bewegt das Eisenblech in derselben Weise, wie es vorher durch den Sprecher bewegt wurde.

Das Photophon (Bell und Tainter, 1880). Die Erfinder benützen die Eigenschaft des krystallinischen Selens, durch Belichtung ein besserer Leiter zu werden. Auf der ersten Station befindet sich ein dünner Spiegel (versilberte Silberplatte), welcher durch eine kräftige Lichtquelle beleuchtet wird und einen Strahl dieses Lichtes in die Ferne reflektiert. Spricht man gegen die Rückseite des Spiegels, so fängt er an zu schwingen. In der zweiten Station fällt der Lichtstrahl auf eine Selenzelle (krystallinisches Selen zwischen dünnen Messingdrähten), nachdem er zuvor durch eine Linse koncentrirt wurde. In dem Stromkreis der Zelle befindet sich eine Batterie und ein Telephon, welches die unterbrochenen Folgen von Widerstandsveränderungen anzeigt und so die Sprache in der Ferne wiedergibt.

Elektrisches Teleskop (Fernseher)[1]) nennt man einen Apparat, welcher dazu dient, Ton- und Lichtschwingungen in die Ferne zu übertragen. Mittelst eines solchen Apparates sieht man bis heute sehr unvollkommen die Person, mit welcher man durch ein Telephon spricht. Eine neue Konstruktion dieser Art ist der Fernseher nach Johann Szczepanik[2]); letzterer benützt Spiegel und die obige Eigenschaft des Selens.

78. Induktion der körperlichen Leiter. Ebenso wie in geschlossenen Leitern entstehen in ausgedehnten Metallmassen, Scheiben oder Kugeln durch Induktion von in der Nähe befindlichen Strömen oder Magneten Induktionsströme.

79. Induktion höherer Ordnung. Die Induktionsströme wirken selbst wieder inducierend auf geschlossene Leiter. J. Henry nennt einen durch den Haupt- oder primären Strom inducierten Strom einen Strom zweiter Ordnung; die durch letztere erregten Ströme, Ströme dritter Ordnung. Auch Ströme vierter und fünfter Ordnung wurden noch durch ihre physiologischen Wirkungen nachgewiesen.

---

[1]) Elektrotechn. Zeitschrift, 1885, P. Nipkow: „Über den Telephotograph und das elektrische Teleskop".

[2]) Technische Rundschau, 1898, S. 121.

c. Elektrische Schwingungen.

80. Telegraphie und Beleuchtung ohne Draht.

Die Luft setzt dem elektrischen Funken einen sehr großen Widerstand entgegen. Der Strom muss den Widerstand in einem elastischen Äther überwinden. Ein Funke dauert nur einen Bruchtheil einer Sekunde, während dieser Zeit finden sehr viele (bis Millionen) elastische Verschiebungen des Äthers statt. Feddersen fand, dass sich der elektrische Funke periodisch verändert, d. h.: die Entladung findet nicht ununterbrochen statt, sondern sie hört auf und beginnt wieder von Neuem. Man nennt solche rasch wechselnde elektrische Bewegungen elektrische Schwingungen oder Oscillationen. Die Zahl der Schwingungen und die Dauer einer Schwingung kann man in einem Drehspiegel beobachten. Stellt man diesen Spiegel dem Funken gegenüber auf, so erscheint der Funke als ein Lichtband im Spiegel. Dieses Bild zeigt abwechselnd dunkle und helle Stellen, d. h.: es setzt die Entladung periodisch aus und ein. Eine dunkle und eine helle Stelle zusammen stellen eine Schwingung (Oscillation) dar. Man erhält die raschesten Schwingungen zwischen kleinen Körpern (zwischen geringen Äthermengen), ähnlich sowie eine Pfeife um so höhere Schwingungen (höhere Töne) gibt, je kürzer sie ist. Heinrich Hertz in Bonn hat von diesen raschen Schwingungen eine Reihe von Anwendungen gemacht, welche das Wesen der Elektricität zu erschließen suchen. Seine Versuche ergaben als Geschwindigkeit der Elektricität sowie des Lichtes 300.000 *km* in 1 Sek. Von dem Leiter gehen elektrische Bewegungen aus, welche in dem Äther der Luft fortschreitende Wellenbewegungen erzeugen, gerade so wie z. B.: Licht- oder Wasser-Wellen. Die Wellenlängen der Ätherwellen betragen als Lichtwellen 4 bis 7·5 Zehntausendstel eines *mm*, als Wärmewellen 8 bis 9 Tausendstel eines *mm*. Hertz hat weiters nachgewiesen, dass man mit den elektrischen Wellen dieselben Versuche durchführen kann, wie mit Lichtwellen. Derselbe bediente sich bei seinen Versuchen auch eines sogenannten Kohärer (Branly, Righi). In einer Glasröhre von etwa 4 *cm* Länge befinden sich Metallspäne (z. B.: Eisenfeilspäne u. s. w.) und 2 Metallelektroden. Dieser Apparat hat einen sehr hohen Widerstand, welcher jedoch beim Überspringen eines nahen Funkens auf etwa 5 Ohm herabsinkt. Schaltet man in den Kohärer ein Element und ein Galvanometer ein, so ist der Widerstand so hoch, dass die Nadel keinen Ausschlag gibt; die Nadel wird jedoch abgelenkt, wenn man in der Nähe des Apparates einen Funken überspringen lässt. Eine kleine Erschütterung genügt, um dem Widerstande wieder seinen hohen Wert zu geben. Mit Hilfe des Kohärers hat Hertz die folgenden Versuche durchgeführt:

1. Nachweis der Ausbreitung der elektrischen Wellen von dem Funken aus.
2. Die elektrischen Wellen gehen durch Isolatoren (Glas, Holz, Hartgummi u. s. w.) hindurch, Metalle jedoch sind undurchstrahlbar.
3. Elektrische Wellen werden mittelst Metallplatten reflektiert und gebrochen.
4. Sammlung elektrischer Wellen durch Hohlspiegel.

Auf den Hertz'schen Wellen beruht die Telegraphie ohne Draht (Funkentelegraphie) nach Guglielmo Marconi. Der Geber besteht aus einer Funkenstrecke, der Empfänger ist ein Kohärer. Gibt man einen Funken, so wird der Widerstand im Stromkreise des Kohärers derart vermindert, dass ein eingeschaltetes Relais einen Localstromkreis schließt, in welchem ein Morse-Schreibapparat eingeschaltet ist. Um den Kohärer wieder auf seinen früheren hohen Widerstand zu bringen, trägt der Anker des Morse-Apparates einen Klöppel, der bei der Bewegung des Ankers schwach gegen den Kohärer anschlägt. Josef Tuma hat den Kohärer zu diesem Zwecke auf den Hebel des Schreibapparates montiert.

Bisher gelang die Zeichengebung bis auf 26 *km*. Die umfassendsten Versuche haben Marconi und A. Slaby ausgeführt.

Nikola Tesla verwendet bei seinen Versuchen über die Beleuchtung ohne Draht starke, elektrische Wellen von großer Wellenlänge. Große Leydnerflaschen dienen zur Erzeugung derselben. Die Anzahl der Schwingungen beträgt rund mehrere Hunderttausende. Durch einen Transformator bringt Tesla diese Ströme auf sehr hohe Spannung und eine sehr große Schwingungszahl (Frequenz). Sowie Marconi ohne Draht telegraphiert, hat Tesla vor ihm ohne Draht beleuchtet. Tesla schaltet zu letzterem Zwecke in die sekundären Wickelungen seines Transformators zwei große Kupferbleche (Elektroden) ein, die er an zwei gegenüberstehenden Mauern anbringt. Dadurch werden in dem Raume zwischen den Elektroden elektrische Wellen hervorgerufen, welche Geissler'sche Röhren zum Leuchten bringen. Während sonst Wechselströme von geringer Schwingungszahl schon bei etwa 300 Volt lebensgefährlich sind, kann man sich nach Tesla ohne Gefahr zwischen die Pole seines Transformators einschalten. Wahrscheinlich sind diese Ströme deshalb nicht wirksam, weil sie sehr rasch aufeinander in wechselnder Richtung auftreten.

V. Kapitel.

Weitere Elektricitätsquellen.

81. Die Thermoelektricität (Seebeck, 1822) wird durch Erwärmung der Löthstellen zweier zu einer geschlossenen Figur, Fig. 96, vereinigten Metalle erzeugt.

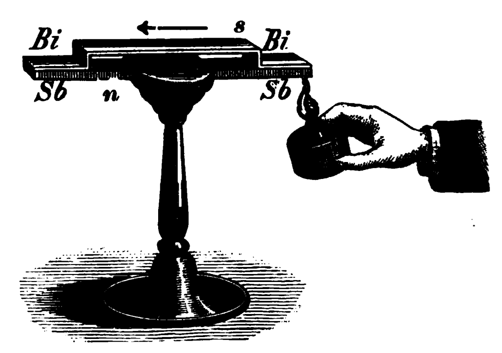


Fig. 96. Thermoelement.

Eine Verbindung von Thermoelementen nennt man Thermosäule. Kräftige Thermosäulen stammen von Clamond, Noë[1]) und R. Gülcher, Fig. 97.

Die + Elektroden der letzteren Säule bestehen aus chemisch reinen, in zwei Reihen auf einer Schiefertafel montierten Nickelröhrchen; durch dieselben wird das Gas aus einem unterhalb der Tafel befindlichen Kanal eingeleitet.

Die — Elektroden bestehen aus einer Antimonlegierung. An die letzteren Elektroden sind lange Kupferstreifen angelöthet, die zur Abkühlung und Verbindung der Elemente dienen. Im Bilde sind oben Löcher sichtbar, in welche Schornsteine aus Asbest mittelst Glimmerröhrchen aufgesteckt werden. Aus dem Schornsteine tritt das Gas aus und wird dort angezündet.

Die größte Konstruktion dieser Säulen besteht aus 66 Elementen, gibt bei mittlerem Gasdruck eine elektromotorische Kraft von 4 Volt, hat einen inneren Widerstand von 0·65 Ohm und verbraucht etwa 170 Liter Gas in der Stunde.

---

[1]) Dr. A. von Waltenhofen, Dingler's polytechn. Journal, 1871, Bd. 200, Seite 10 ff., 1872, Bd. 205, Seite 33 ff., 1877, Bd. 224, Seite 267 ff.

Wilhelm Peukert, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1884.

Gérard (Peukert und Kareis), 1889, Seite 103.

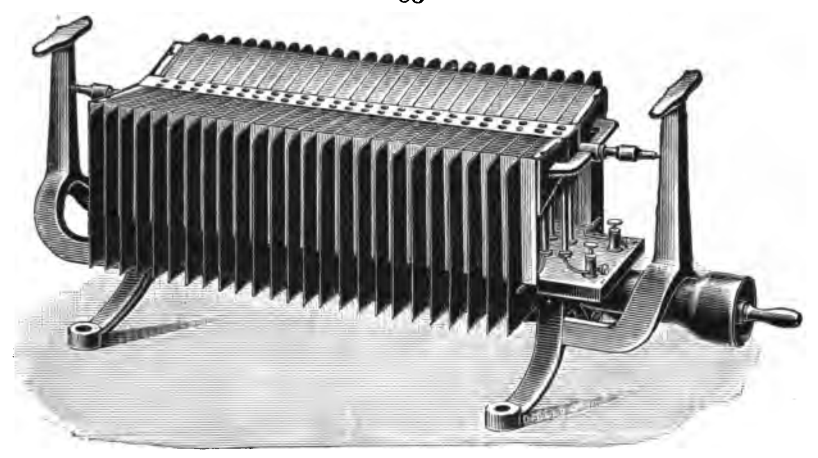


Fig. 97. Thermosäule nach Gülcher.

82. Thierische Elektricität. Der Lebens-Vorgang der Thiere bedingt Elektricitätserregung.

Die umfangreichsten Forschungen über diesen Gegenstand verdanken wir Du Bois Reymond (1848—1860). Der Reihenfolge nach wurden bekannt: Die elektrischen Schläge des Zitterrochen, der Zitterwelse (1751) und Zitteraale (1762), der Froschstrom (Galvani, 1794). Alexander von Humboldt schildert uns in seinen unsterblichen Werken die selbst gegen Pferde wirksamen Schläge der Zitteraale in den Kämpfen der Zitteraale und Pferde in den brasilianischen Seen.

Angewandte Elektricitätslehre oder Elektrotechnik.

I. Abschnitt.

Elektrische Maße.

83. Einleitung. Die neuen elektrischen Maße heißen:

1. Einheiten der British Association (1881) und des Pariser Kongresses (1884), weil sie von diesen Korporationen zuerst eingeführt wurden,

2. internationale Maße, weil dieselben durch internationales Übereinkommen in die Wissenschaft aufgenommen wurden,

3. absolute Maße (Friedrich Gauß), weil sie unabhängig sind von Zeit und Ort der Beobachtung, im Gegensatze zu den konventionellen Maßen, welche im praktischen Leben gebräuchlich sind und diese Eigenschaften nicht besitzen.

Eine Krafteinheit ist beispielsweise von Zeit und Ort der Beobachtung unabhängig, wenn wir als Einheit der Kräfte jene Kraft annehmen, welche der Masse 1 Kubikmillimeter in der Sekunde einen Geschwindigkeitszuwachs (Beschleunigung) von 1 Millimeter ertheilt. Den Druck, welchen die Masse, in Folge der Schwere, auf ihre Unterlage ausübt, nennt man das Gewicht. Wählen wir aber anstatt der Masse das Gewicht 1 Kubikmillimeter Wasser als Einheit, so ist diese Krafteinheit an verschiedenen Orten der Erde verschieden, weil die Schwerkraft zwischen Pol und Äquator geringen Schwankungen unterliegt. Als Einheit der erdmagnetischen Kraft galt früher die erdmagnetisierende Kraft in London. Diese Einheit war im Gegensatze zu den absoluten Maßen von Zeit und Ort der Beobachtung abhängig; sie war zu verschiedenen Zeiten eine andere, weil sich die erdmagnetisierende Kraft in London mit der Zeit der Beobachtung ändert, sie war vom Orte der Beobachtung abhängig, weil dieselbe nur für London ohneweiters Giltigkeit hat,

4. abgeleitete Maße oder das *LMT*- (Länge, Masse, Zeit) System, weil sie von Friedrich Gauß und Wilhelm Weber aus den Grundmaßen der Mechanik (Masse, Länge und Zeit) abgeleitet wurden.

Für das metrische Maß- und Gewichtssystem dienen das Meter (der zehnmillionste Theil des Erdmeridianquadranten) und das Gewicht des Wassers bei 4° C. als Grundmaße.

Das *LMT*-System zerfällt:

a) In das Millimeter-Milligramm-Sekunden- (*MmMgS*-) System mit den Grundeinheiten Millimeter, Milligramm und Sekunde.

b) In das Centimeter-Gramm-Sekunden- (*CGS*-) System mit den Grundeinheiten Centimeter, Gramm und Sekunde.

c) In das Meter-Kilogramm-Sekunden- (*MKgS*-) System mit den Grundeinheiten Meter, Kilogramm und Sekunde.

I. Kapitel.

Mechanische Maße.

84. Fläche. Aus den 3 Grundmaßen (Länge, Masse und Zeit) lassen sich für alle physikalischen Größen Einheiten ableiten. Die Einheit der Fläche geht aus der Einheit der Länge vermittels der Überlegung hervor, dass die Einheit der Fläche das Quadrat über der Einheit der Länge darstellt.

$$\text{Längeneinheit} = L,$$
$$\text{Flächeninhalt } F = L^2,$$

d. h. die Flächeneinheit ist dem Quadrate der Längeneinheit proportional oder die Flächeneinheit ist im Vergleiche mit der Längeneinheit von der 2. Dimension (Abmessung oder Ausdehnung). Die Längeneinheit hat die Dimension L, eine Dimension, die Flächeneinheit hat die Dimension L^2, zwei Dimensionen. Eine Linie hat eine, eine Fläche zwei Dimensionen.

85. Rauminhalt (Körper-, Kubikinhalt oder Volumen). In der Geometrie nimmt man für die Einheit des Raumes einen Würfel an, dessen Kantenlänge der Längeneinheit gleich ist. Die absolute Einheit des Raumes stellt ein Würfel mit der Kantenlänge der Längeneinheit L dar, d. h.:

$$\text{Die Einheit des Rauminhaltes } V = L^3.$$

Somit ist die Raumeinheit der 3. Potenz der Längeneinheit proportional, oder die Raumeinheit hat im Vergleiche mit der Längeneinheit die 3. Dimension.

Im *Mm Mg S*-System ist die Raumeinheit = 1 Kubikmillimeter,
im *CGS*- „ „ „ „ = 1 Kubikcentimeter,
und im *MKg S*- „ „ „ „ = 1 Kubikmeter.

86. Geschwindigkeit. Unter Geschwindigkeit c eines sich gleichförmig bewegenden Körpers versteht man den in der Sekunde zurückgelegten Weg. Für eine Sekunde ist daher $c = s$. Braucht der Körper t Sekunden, um diesen Weg zurückzulegen, so wird die Geschwindigkeit c um $t$mal kleiner sein, d. h.:

$$c = \frac{s}{t}.$$

Die Einheit der Geschwindigkeit ist demnach von den Einheiten der Zeit t und der Länge (des Weges) s abgeleitet. Um die Dimension einer Geschwindigkeit zu erhalten, müssen wir für s und t die betreffenden Einheiten L und T einführen. Die Dimension einer Geschwindigkeit ist demnach:

$$C = \frac{L}{T} = LT^{-1}.$$

Die Einheit der Geschwindigkeit ist der Längeneinheit L gerade, der Zeiteinheit T umgekehrt proportional.

1. Beispiel: $L = 30.000\ mm$, $T = 5$ Sekunden; wie groß ist die Geschwindigkeit im *Mm Mg S*-System?

$$C_1 = \frac{L}{T} = \frac{30000}{5} = 6000\ Mm\ S^{-1}.$$

Die Geschwindigkeit im *Mm Mg S*-System $= 6000\ Mm\ S^{-1}$.

2. Beispiel: $L = 3000\ cm$, $T = 5$ Sekunden; wie groß ist die Geschwindigkeit im *CGS*-System?

$$C_2 = \frac{L}{T} = \frac{3000}{5} = 600\ CS^{-1}.$$

Die Geschwindigkeit im *CGS*-System $= 600\ CS^{-1}$.

3. Beispiel: $L = 30\ m$, $T = 5$ Sekunden; wie groß ist die Geschwindigkeit im *MKg S*-System?

$$C_3 = \frac{30}{5} = 6\ MS^{-1}.$$

Die Geschwindigkeit im *MKg S*-System $= 6\ MS^{-1}$ absoluten Einheiten.

Die in den 3 letzten Beispielen gegebenen Geschwindigkeiten verhalten sich folgend

$$C_1 : C_2 : C_3 = 6000 : 600 : 6 \text{ oder}$$
$$C_1 : C_2 : C_3 = 1000 : 100 : 1.$$

Bestimmt man demnach eine Geschwindigkeit im *MKg S*-System, im 3. Beispiele $c_3 = 6\ MS^{-1}$, so hat man dieselbe mit 100 zu multiplicieren, um die Geschwindigkeit im *CGS*-System, im 2. Beispiele $c_2 = 600\ CS^{-1}$, zu erhalten. Die Einheiten des *M Kg S*-System und des *C G S*-System verhalten sich demnach wie 1 : 100.

Ebenso findet man die folgenden Verhältnisse:

CGS-System : *Mm Mg S*-System = 1 : 10,
MKg S- „ : *Mm Mg S*- „ = 1 : 1000.

4. Beispiel: Ein Personenzug legt 50 *km* in der Stunde zurück; wie groß ist seine Fahrgeschwindigkeit in *CGS*-Einheiten?

$$c = \frac{L}{T} = \frac{50.100.000}{3600} = 1388\ CS^{-1}.$$

Die Fahrgeschwindigkeit beträgt 1333 *CGS*-Einheiten.

87. Winkelgeschwindigkeit der drehenden Bewegung. Unter Winkelgeschwindigkeit versteht man die Geschwindigkeit am Einheitskreise. Dreht sich ein Punkt im Abstande Eins von der Achse, so nennt man die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Punkt dreht, die Winkelgeschwindigkeit der drehenden Bewegung. Die Winkelgeschwindigkeit ω wird somit zur Geschwindigkeit c, wenn der Abstand des drehenden Punktes von der Achse gleich Eins ist. Hat der Punkt den Abstand r von der Achse, dann ist seine Geschwindigkeit

$$c = \omega\, r \text{ oder } \omega = \frac{c}{r} \text{ und für}$$

$$c = \frac{s}{t} \text{ (86) eingesetzt, erhalten wir}$$

$$\omega = \frac{s\, t^{-1}}{r}.$$

Somit ergibt sich die Dimension der Winkelgeschwindigkeit

$$\Omega = \frac{L\, T^{-1}}{L} = T^{-1}.$$

Wenn der Weg s dem Umfange $2\pi r$ gleich ist, folgt aus der Formel $\omega = \frac{s\, t^{-1}}{r}$, dass $\omega = 2\,\pi\, t^{-1}$. Der rotierende Punkt besitzt die Einheit der Winkelgeschwindigkeit, wenn derselbe in der Zeiteinheit (Sekunde) den zum Winkel Eins gehörigen Kreisbogen, oder wenn derselbe in $2\,\pi$ Sekunden den Kreis-Umfang $2\,\pi\, r$, oder wenn derselbe in der Entfernung 1 *cm* von der Achse in der Sekunde 1 *cm* zurücklegt. Für die Winkelgröße gelten in der Geometrie zwei verschiedene Centriwinkel als Einheit u. zw.:

1. „Ein Grad" oder der 360. Theil des Kreisumfanges.

2. Die „Winkeleinheit", das ist der Centriwinkel jenes Kreises, dessen Bogen und Radius einander gleich sind.

Setzt man für beide Winkelgrößen den Halbmesser Eins voraus, dann sind π Winkeleinheiten = 180 Grad, 1 Winkeleinheit = 57° 17′ 14·9″ (Radian).

Die absolute Einheit der Winkelgeschwindigkeit ist jene Winkelgeschwindigkeit, welche in der Zeiteinheit eine Drehung um eine Winkeleinheit bewirkt; sie ist dem Drehungswinkel gerade, der Zeit umgekehrt proportional. Die Winkelgröße hängt von den drei Größen LMT nicht ab, und es wurde ihr deshalb die Dimension 1 gegeben. Die Dimension der Winkelgeschwindigkeit im $L\,M\,T$-System ist demnach

$$\Omega = \frac{1}{T} = T^{-1}.$$

1. Beispiel: Es soll die Anzahl der absoluten Einheiten der Winkel-Geschwindigkeit im *CGS*-Systeme angegeben werden, welche $1\,\frac{\text{Umdrehung}}{\text{Sekunde}}$ entsprechen.

Eine Umdrehung umfasst 2π Winkeleinheiten, demnach muss

$$1\,\frac{\text{Umdrehung}}{\text{Sekunde}} = 2\pi\, S^{-1}.$$

2. Beispiel: Die gegebene Winkelgeschwindigkeit sei $1 \frac{\text{Grad}}{\text{Sekunde}}$; wie groß ist die Anzahl der absoluten *CGS*-Einheiten der Winkelgeschwindigkeit?

1 Grad $= \frac{\pi}{180}$ Winkeleinheiten; daher

$$1 \frac{\text{Grad}}{\text{Sekunde}} = \frac{\pi}{180} S^{-1}.$$

3. Beispiel: Es ist die Zahl der Einheiten der Winkelgeschwindigkeit der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde zu bestimmen.

$$\frac{1 \text{ Umdrehung}}{86164 \text{ Sekunden}} = \frac{2\pi}{86164} S^{-1} = 729.10^{-7} S^{-1}.$$

88. Beschleunigung. Die Beschleunigung g eines Körpers ist gleich dem Geschwindigkeitszuwachse in der Sekunde:

$$g = \frac{c}{t}.$$

Die absolute Einheit der Beschleunigung $G = \frac{L}{T^2} = LT^{-2}$. Die Dimension der Beschleunigung ist demnach $\frac{L}{T^2}$ oder LT^{-2}.

Die LT-Einheit der Beschleunigung ist der Längeneinheit L gerade und dem Quadrate der Zeiteinheit T^2 umgekehrt proportional.

89. Winkelbeschleunigung. Die Winkelbeschleunigung nennt man den Winkelgeschwindigkeitszuwachs ω in der Zeit-Einheit, d. h.: $\gamma = \frac{\omega}{t}$. Als Einheit der Winkelbeschleunigung wählt man jene Winkelbeschleunigung, bei welcher die Winkelgeschwindigkeit eines Punktes in der Zeiteinheit um eine Winkeleinheit wächst. Die letzte Gleichung geht mit Bezug auf

$\omega = \frac{s\,t^{-1}}{r}$ (87) in die folgende über:

$$\gamma = 2\pi t^{-2}.$$

Demnach ist die Dimension der Winkelbeschleunigung im LMT-System

$$\Gamma = T^{-2},$$

1. Beispiel: Der Zuwachs der Winkelgeschwindigkeit sei in einer Sekunde $1 \frac{\text{Umdrehung}}{\text{Sekunde}}$; es sind die absoluten Einheiten der Winkelbeschleunigung für diese Winkelbeschleunigung anzugeben.

$$1 \frac{\text{Umdrehung}}{\text{Sekunde}} : \text{Sekunde} = \frac{2\pi}{S} : S = 2\pi S^{-2} = 6{\cdot}2831853\ S^{-2}.$$

2. Beispiel: Der Winkelgeschwindigkeitszuwachs in der Sekunde sei $1 \frac{\text{Grad}}{\text{Sekunde}}$; man soll die zugehörige Anzahl von Winkelbeschleunigungseinheiten im *CGS*-Systeme angeben.

$$1 \frac{\text{Grad}}{\text{Sekunde}} : \text{Sekunde} = \frac{\pi}{180}.\ S^{-2} = 0{\cdot}017453\ S^{-2}.$$

90. Kraft. Die Mechanik führt für das Produkt aus der Masse m in die Beschleunigung g den Ausdruck Kraft p ein, d. h.:

$$p = mg.$$

Die Einheit der Kraft, das *Dyn* oder die *Dyne* (Kraft), muss deshalb als jene Kraft angesehen werden, welche der Einheit der Masse M die Einheit der Beschleunigung $\frac{L}{T^2}$ ertheilt. Daraus ergibt sich die Dimension einer Kraft:

$$P = M\frac{L}{T^2} = LMT^{-2}.$$

1. Beispiel: Wie viel *CGS*-Einheiten zählt eine Kraft, welcher eine Masse von 3 *kg* eine Beschleunigung von $\frac{2\ m}{(4\ \text{sec.})^2}$ ertheilt?

$$\frac{2\,M.\ 3\,Kg}{16\ S^2} = \frac{200\ C.\ 3000\ G}{16\ S^2} = 37500\ CGS^{-2}.$$

Die in Frage gestellte Kraft zählt demnach 37500 CGS^{-2} Einheiten.

2. Beispiel: Wie verhalten sich die Krafteinheiten im $Mm\ Mg\ S^{-2}$ und im CGS^{-2} System?

$$CGS^{-2} = 10\ Mm.\ 1000\ Mg^{-2} = 10000\ Mm\ Mg\ S^{-2}.$$

Es verhalten sich demnach die Einheiten in CGS^{-2}: Einheiten in $Mm\ Mg\ S^{-2}$ System $= 1 : 10000$.

3. Beispiel: Wie groß ist die Kraft P, mit welcher 1 *kg* von der Erde angezogen wird?

Die kommerciellen Gewichte geben uns die Kraft an, mit welcher die Beschleunigung der Erde auf die gleichbenannten Massen einwirkt. Das Gewicht (die Kraft) eines *kg* ist demnach gleich dem Produkte aus der Masse 1 *kg* in die Beschleunigung, welche die Schwerkraft der Erde auf die freibewegliche Masse 1 *kg* ausübt. Diese Beschleunigung $g = 9\cdot78\ (1 + 0\cdot0052\ \sin^2 \varphi)$,[1] wenn φ = geographische Breite; sie ist im Mittel $= 9\cdot81$, am Äquator rund $9\cdot78$, an den Polen rund $9\cdot83\ m$. Die Kraft P, mit welcher 1 *kg* von der Erde angezogen wird

$$P = 981 . 1000\ CGS^{-2},$$
$$= 981000\ CGS^{-2} \text{ Einheiten.}$$

4. Beispiel: Um wie viele *Dyn* wird die Schwere einer Kilogrammasse abnehmen, wenn man sie aus unseren Breiten nach dem Äquator bringt?

Das *Dyn* ist jene Kraft, welche der Masse eines Grammes in der Sekunde die Beschleunigung 1 *cm* ertheilt. Die Masse 1 *g* wird nun in unseren Breiten die Beschleunigung der Schwere = 981 *cm* ertheilt; diese ist demnach 981 mal so groß, als 1 *Dyn*. 1 Kilogrammmasse wird demnach in unseren Breiten um 981000 *cm* beschleunigt. Es entspricht demnach

in unseren Breiten	1	Kilogrammgewicht	981000	*Dyn*,
am Äquator	1	„	978000	„
		Die Differenz beträgt	3000	*Dyn*.

d. h. 1 Kilogrammgewicht nimmt um 3000 *Dyn* ab, wenn man es aus unseren Breiten nach dem Äquator bringt.

---

[1]) Dr. von Waltenhofen, „Mechanische Physik", Seite 72.



91. Arbeit.

Nach den Gesetzen der Mechanik ist eine Arbeit a gleich dem Produkte aus der Kraft p in den Weg s, d. h.:

$$a = ps.$$

Die absolute Einheit der mechanischen Arbeit ist jene Arbeit, welche von der absoluten Einheit der Kraft auf dem Wege der Längeneinheit geleistet oder verbraucht wird. Die absolute Einheit der mechanischen Arbeit im *CGS*-Systeme ist jene Arbeit, welche 1 *Dyn* Kraft auf dem Wege von 1 *cm* Länge leistet oder verbraucht.

$A = 1$ Centimeter *Dyn* $= 1$ *Erg* (Werk oder Arbeit).

Die Dimension der Arbeit ist demnach gleich der Dimension der Kraft mal der Dimension der Längeneinheit:

$$A = LMT^{-2}L = L^2MT^{-2}.$$

Beispiel: Wie viel *Erg* enthält ein Kilogrammmeter?
Nach Früherem ist

1 Kilogramm = 981000 *CGS* = 981000 *Dyn*,
1000000 *mg* = 981.000 *Dyn*,
1 *mg* = 0·981 *Dyn*,
1 *mg* ∾ 1 *Dyn*,
1 Kilogrammmeter = 981000.100 *Erg*,
1 „ = 98100000 *Erg* = $9{\cdot}81.10^7$ *Erg*.

Ein Kilogrammmeter enthält $9{\cdot}81.10^7$ *Erg*, das ist die Arbeit, welche geleistet wird, wenn man 1 *kg* 1 *m* hoch hebt.

92. Effekt (Arbeitsstärke, Zeitarbeit, Intensität der Arbeitsleistung). Unter Effekt versteht man die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit.

Die absolute Einheit des Effektes ist derjenige Effekt, durch welchen in der Zeiteinheit die absolute Einheit der mechanischen Arbeit geleistet wird. Die absolute Einheit des Effektes im *CGS*-Systeme ist jener Effekt, durch welchen in der Zeiteinheit 1 *Erg* Arbeit geleistet wird. Dieser Definition entsprechend nennt man diese Einheit auch Sekundenerg.

$$1 \text{ Sekundenerg} = \frac{1}{981.10^7} \text{ Sekundenkilogrammmeter.}$$

Das Sekundenkilogrammmeter ist die Einheit des Effektes im *M Kg S*-Systeme.

75 *M Kg S* nennt man eine Pferdestärke (Pferdekraft) *PS*,

1 *PS* = 75 *mkg* in der Sekunde.

1 *PS*-Stunde = 75.3600 = 270000 Meterkilogramm.

Gebräuchlich sind außer den Bezeichnungen *PS* und *PS*-Stunden die englischen Symbole *HP* (horse-power) und *HPH* (horse-power-hour), wobei jedoch

1 *HP* = 76 *mkg*.

93. Drehungsmoment (Statisches Moment, Moment einer Kraft). Unter dem Drehungsmomente versteht man das Produkt aus einer Kraft p, welche auf einen Hebelarm s senkrecht wirkt in die Länge des Hebelarmes. Der Hebelarm ist dabei der Abstand des Angriffspunktes der Kraft vom Drehpunkte. Das Drehungsmoment wird demnach durch das Produkt aus Kraft p mal Abstand s bestimmt, d. h.:

$$d = p\,s, \text{ worin Dim. } p = LMT^{-2}$$

(90) und Dim. $s = L$ (84). Die Dimension des Drehungsmomentes erhält demnach die Form:

$$D = L^2MT^{-2}$$

1. Beispiel: An einem Hebelarme von 2 m greift eine Kraft von 20 Dyn an; wie groß ist das Drehungsmoment in CGS Einheiten?

$$20 . CGS^{-2} . \; 2\,m = 4 . 10^3 . CGS^{-2}.$$

2. Beispiel: Es ist das statische Moment von 1 kg an einem Hebel von 2 m wirkend in CGS-Einheiten anzugeben.

$$981 . 10^3 . CGS^{-2} . 2\,m = 2 . 981 . 10^5 . CGS^{-2} = 1962 . 10^5 . CGS^{-2}.$$

94. Trägheitsmoment. Das Trägheitsmoment eines um eine Achse drehbaren Körpers ist numerisch dem Verhältnisse des Drehungsmomentes zu der von diesem hervorgerufenen Winkelbeschleunigung gleich. Man muss deshalb die Dimension des Drehungsmomentes L^2MT^{-2} durch die Dimension der Winkelbeschleunigung T^{-2} dividieren, um die Dimension des Trägheitsmomentes zu erhalten. Damit ergibt sich

$$K = \frac{L^2MT^{-2}}{T^{-2}} = L^2M.$$

Beispiel: An einer Atwood'schen Fallmaschine[1]) besitze die feste Rolle einen Durchmesser von 10 cm und ein Trägheitsmoment von 2000 C^2G. Es soll die Kraft berechnet werden, welche an einer um die Rolle gelegten Schnur wirken muss, damit die Rolle eine Winkelbeschleunigung von 1 S^{-2} erhält.

Der Hebelarm beträgt 5 cm.

$$LMT^{-2} . 5\,cm : \frac{1}{S^2} = 2000\ C^2G \text{ oder } LMT^{-2} = 400\ \frac{C.G}{S^2} = 400\ Dyn.$$

95. Wärmeäquivalent. Unter dem mechanischen Äquivalente der Wärme versteht man jene mechanische Arbeit L^2MS^{-2}, die jener Wärmemenge gleichwertig (äquivalent) ist, welche die Einheit des Wassers um 1° C. erwärmt; diese Wärmemenge nennt man zugleich die Wärmeeinheit (Kalorie).

Daraus ergibt sich die Dimension: $\frac{\text{Arbeitseinheit}}{\text{Wärmeeinheit}}$, als Arbeitseinheit für die Wärmeeinheit.

$$\text{Mechanisches Wärmeäquivalent} = \frac{C^2GS^{-2}}{G} = C^2S^{-2}.$$

---

[1]) Franz Körner, Lehrbuch der Physik, S. 24.

1 Kilogrammkalorie ist bekanntlich = 423·5 Kilogrammmeter oder 9·81 × 423·5 *MKgS*-Einheiten = 4154 *MKgS*-Einheiten oder weil die Längeneinheit $M = 100\ C$ und in der Dimensionsformel für das mechanische Wärmeäquivalent C^2 vorkommt, ist das Verhältnis des mechanischen Äquivalentes der Wärme im *CGS*-System 100^2mal so groß als im *MKgS*-System, d. h.: $4154 \times 100^2 = 4{\cdot}15 \times 10^7 CGS = E$.

$$E = 4{\cdot}15 \times 10^7\ C^2 S^{-2}.$$

Den reciproken Wert, also $\frac{1}{E}$ nennt man das kalorische Äquivalent der Arbeitseinheit. Es ist demnach

$$\frac{1}{E} = 0{\cdot}24 \times 10^{-7}\ C^{-2} S^2 \text{ oder}$$

1 *Erg* = $0{\cdot}24 \times 10^{-7}$ Grammkalorien.

II. Kapitel.

Magnetische Maße.

96. Magnetische Quantität (Polstärke oder **absolute Einheit der Pole).** Die Kraft p der Einwirkung zweier magnetischer Theilchen m_1 und m_2 aufeinander, welche von einander eine bestimmte Entfernung r haben, ist bekanntlich nach dem Gesetze nach Coulomb dem Produkte der Massen m_1 und m_2 gerade, dem Quadrate der Entfernung r^2 verkehrt proportional, d. h.:

$$p = \frac{m_1\ m_2}{r^2}.$$

Die Einheit des Magnetismus ist demnach jene Menge m, welche auf eine gleich große, in der Entfernung 1 befindliche, eine Kraft 1 ausübt, d. h.:

$$P = \frac{m^2}{L} \text{ und}$$

$$m = LP^{1/2} = \frac{M^{1/2} L^{3/2}}{T}.$$

Beispiel: Wie verhalten sich die absoluten *CGS*- und *MmMgS*-Einheiten der Polstärke zu einander?

$$1\ C^{3/2} G^{1/2} S^{-1} = (10\ Mm)^{3/2} (1000\ Mg)^{1/2} S^{-1} = 1000\ Mm^{3/2} Mg^{1/2} S^{-1}.$$

97. Magnetisches Moment. Das Moment $\mathfrak{m}$ eines Magnetstabes ergibt sich aus dem Produkte:

Magnetische Quantität m mal Polabstand l d. h.:

$$\mathfrak{m} = m . l.$$

Das magnetische Moment hat deshalb die Dimension:

$$\mathfrak{M} = M^{\frac{1}{2}} L^{3/2} T^{-1} . L = L^{5/2} M^{1/2} T^{-1}.$$

1. **Beispiel:** Es ist das Verhältnis zwischen der absoluten CGS- und $MmMgS$-Einheit des magnetischen Momentes anzugeben.

$$1\ C^{5/2}\,G^{1/2}\,S^{-1} = (10\,Mm)^{5/2}\,(1000\,Mg)^{1/2}\,S^{-1},$$
$$10^{5/2}\,Mm^{5/2}\,10^{3/2}\,Mg^{1/2}\,S^{-1} = 10000\,Mm^{5/2}\,Mg^{1/2}\,S^{-1}.$$

2. **Beispiel:** Man bestimme das Verhältnis zwischen der absoluten $MKgS$- und $MmMgS$-Einheit des magnetischen Momentes.

$$1\,M^{5/2}\,Kg^{1/2}\,S^{-1} = (1000\,Mm)^{5/2}\,(1000000\,Mg)^{1/2}\,S^{-1}$$
$$= 1000^{5/2}\,Mm^{5/2}\,(10^6)^{1/2}\,Mg^{1/2}\,S^{-1} = 10^{21/2}\,Mm^{5/2}\,Mg^{1/2}\,S^{-1}.$$

3. **Beispiel:** Das magnetische Moment eines Magnetstabes sei $1000\,C^{5/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$, die Länge 12 *cm* und die Pole seien im 1. Zwölftel des Stabes: Man berechne die Polstärke.

$$1000\,\frac{C^{5/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}}{{}^{10}/_{12}.12\,C} = 100\,C^{3/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}.$$

98. Magnetisches Potential. In einem bestimmten Orte eines magnetischen Feldes sei ein bestimmter magnetischer Punkt mit der Menge $L^{3/2}\,M^{1/2}\,T^{-1}$ an Nordmagnetismus. Die Kräfte des magnetischen Feldes werden, wenn man den Punkt aus demselben auf irgend einem Wege bewegt, eine bestimmte mechanische Arbeit $L^2\,MT^{-2}$ verrichten. Das Potential des Ortes ist nun der Arbeit gerade und der Menge verkehrt proportional, Hiermit ergibt sich als Dimension für das magnetische Potential:

$$\frac{L^2\,MT^{-2}}{L^{3/2}\,M^{1/2}\,T^{-1}} = L^{1/2}\,M^{1/2}\,T^{-1}.$$

Beispiel: Wie verhalten sich die CGS- und $MKgS$-Einheit des magnetischen Potentials?

$$1\,M^{1/2}\,Kg^{1/2}\,S^{-1} = (100\,C)^{1/2}\,(1000\,G)^{1/2}\,S^{-1} = 100^{1/2}\,1000^{1/2}\,C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}$$
$$= (10^2)^{1/2}\,(10^3)^{1/2}\,C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1} = 10^{5/2}\,C^{1/2}\,G^{1/2}\,S^{-1}.$$

99. Intensität der Magnetisierung oder specifischer Magnetismus i heißt das magnetische Moment M eines Stabes auf die Volumseinheit v bezogen, d. h. $i = MV$; daraus folgt die Dimension:

$$J = \frac{L^{5/2}\,M^{1/2}\,T^{-1}}{M} = L^{5/2}\,M^{-1/2}\,T^{-1}.$$

Beispiel: Es ist das Verhältnis zwischen der CGS- und $MKgS$-Einheit des specifischen Magnetismus festzustellen:

$$1\,M^{5/2}\,Kg^{-1/2}\,S^{-1} = \frac{100^{5/2}\,C^{5/2}\,S^{-1}}{1000^{1/2}\,G^{1/2}} = 10^{7/2}\,C^{5/2}\,G^{-1/2}\,S^{-1}.$$

100. Intensität des magnetischen Feldes. Die Intensität des magnetischen Feldes an einem bestimmten Orte desselben ist gegeben, wenn ein Punkt an diesem Orte mit der magnetischen Quantität $L^{3/2}\,M^{1/2}\,T^{-1}$ durch eine Kraft vom Betrage LMT^{-2} bewegt wird. Obige Intensität zeigt mit der Menge $L^{3/2}\,M^{1/2}\,T^{-1}$ verkehrte, mit der Kraft LMT^{-2} gerade Proportionalität. Daraus finden wir die Dimension:

$$\mathfrak{H} = \frac{LMT^{-2}}{L^{3/2}\,M^{1/2}\,T^{-1}} = L^{-1/2}\,M^{1/2}\,T^{-1}.$$

1. Beispiel: Wie verhalten sich die *CGS*- und *MmMgS*-Einheiten der Intensität des magnetischen Feldes?

$$1\ C^{-1/2}\ G^{1/2}\ S^{-1} = 10^{-1/2}\ Mm^{-1/2}\ 1000^{1/2}\ Mg^{1/2}\ S^{-1} = 10^{-1/2}\ 10^{3/2}\ Mm^{-1/2}\ Mg^{1/2}\ S^{-1} = 10\ Mm^{-1/2}\ Mg^{1/2}\ S^{-1}.$$

2. Beispiel: Die horizontale Intensität des Erdmagnetismus beträgt in Mittel-Europa rund 0·2 *CGS*-Einheiten, die mittlere Inklination 65°. Welcher totalen Intensität des Erdmagnetismus entsprechen diese Angaben?

$$\text{Totale Intensität} = \frac{\text{Horizontalintensität}}{\cos 65^0};\ \text{daher ist die totale Intensität}$$

$$= \frac{0{\cdot}2}{\cos 65^0}\ C^{-1/2}\ G^{1/2}\ S^{-1} = 0{\cdot}47\ C^{-1/2}\ G^{1/2}\ S^{-1}.$$

101. Magnetisches Drehungsmoment; dasselbe erscheint durch die Gleichung $\mathfrak{d} = \mathfrak{M}\mathfrak{H}$. definiert. Damit ergibt sich die Dimension

$$\mathfrak{D} = L^{5/2}\ M^{1/2}\ T^{-1}.\ L^{-1/2}\ M^{1/2}\ T^{-1} = L^2\ MT^{-2}.$$

Beispiel: Eine Magnetnadel, deren magnetisches Moment 200 *CGS*-Einheiten beträgt, steht senkrecht zur Ebene des magnetischen Meridians. Der Erdmagnetismus ruft an der Nadel ein Drehungsmoment hervor. Wie groß ist dasselbe für Mitteleuropa, wenn man hier die Horizontalintensität des Erdmagnetismus mit rund 0·2 *CGS*-Einheiten annimmt?

$$\mathfrak{D} = 200\ C^{5/2}\ G^{1/2}\ S^{-1}\ 0{\cdot}2\ C^{-1/2}\ G^{1/2}\ S^{-1} = 40\ C^2 GS^{-2} = 40\ Dyn\text{-}cm.$$

III. Kapitel.

Elektrostatische Maße.

102. Elektricitätsmenge. Sowie bei den mechanischen und magnetischen Größen gilt auch hier das Coulomb'sche Gesetz. Denkt man sich zwei Elektricitätsmengen m_1 und m_2 in einem Punkte vereinigt, so wirken dieselben aufeinander in der Entfernung r mit der anziehenden oder abstoßenden Kraft p ein, so dass $p = \frac{m_1\, m_2}{r^2}$; setzen wir wieder (96) $m = m_1 = m_2$, dann wird $p = \frac{m^2}{r^2}$ und $m = r\sqrt{p}$. Gehen wir auf die Dimension über, dann müssen wir berücksichtigen, dass $P = LMT^{-2}$ (90) und Dimension $r \doteq L$; hiermit folgt

$$M = L.(LMT^{-2})^{1/2} = L^{3/2}\ M^{1/2}\ T^{-1}.$$

Beispiel: Zwei elektrische Punkte befinden sich in einer Entfernung von 5 *cm*; der eine Punkt besitzt die Elektricitätsmenge von 80 positiven, der andere eine solche von 20 positiven Einheiten des *CGS*-Systems; wie groß ist die Kraft, mit welcher diese beiden Punkte einander abstoßen?

$$P = \frac{80\ C^{3/2}\ G^{1/2}\ S^{-1}\ 20.\ C^{3/2}\ G^{1/2}\ S^{-1}}{25\ C^2} = 64\ CGS^{-2} = 64\ Dyn.$$

103. Elektrostatische Stromeinheit. Fließt in der Zeiteinheit die Quantitätseinheit durch den Querschnitt eines Leiters, dann nennt

man nach **Faraday** die jetzt vorhandene Stromstärke die elektrostatische Stromeinheit, d. h.: $i = \frac{M}{t}$ und die Dimension

$$J = \frac{L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}}{T} = L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}.$$

Beispiel: Es ist die Stromstärke zu bestimmen, welche vorhanden sein muss, wenn in 3 Sekunden eine Elektricitätsmenge von $6 . 10^3$ elektrostatischen *CGS*-Einheiten durch den Leiter fließt.

$$J = \frac{6 . 10^3 \, C^{3/2} G^{1/2} S^{-1}}{3 \, S} = 2 . 10^3 \, C^{3/2} G^{1/2} S^{-2}.$$

104. Elektrostatisches Potential (Spannung). An einem bestimmten Orte bestehe ein elektrischer Punkt innerhalb eines elektrischen Feldes. Der Punkt besitze die positive Elektricitätsmenge $L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}$. Bringt man den Punkt aus dem magnetischen Felde heraus, so werden die im Felde wirksamen Kräfte auf dem Wege, welchen er jetzt zurücklegt, eine mechanische Arbeit $L^2 M T^{-2}$ leisten. Das Potential des Ortes ist der obigen Elektricitätsmenge gerade, der obigen Arbeit verkehrt proportional; d. h. das elektrostatische Potential hat die Dimension:

$$P = \frac{L^2 M T^{-2}}{L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}} = L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}.$$

Beispiel: Wie groß ist das Potential einer leitenden Kugel von 12 *cm* Halbmesser, wenn dieselbe mit 24 Einheiten des absoluten elektrostatischen *CGS*-Systems geladen wurde?

Aus dem Begriffe des Potentials folgt:

$$P = \frac{24 \; C^{3/2} \, G^{1/2} \, S^{-1}}{12 \; C} = 2 \; C^{1/2} \, G^{1/2} \, S^{-1}.$$

105. Intensität des elektrischen Feldes. Die Intensität des elektrischen Feldes herrscht an irgend einem Orte, wenn auf einen Punkt dieses Ortes, welcher auf die Elektricitätsmenge $L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}$ gebracht wurde, die Kraft $L M T^{-2}$ wirkt. Obige Intensität ist der Elektricitätsmenge umgekehrt, obiger Kraft dagegen gerade proportional. Die Dimension der Intensität hat demnach die Form:

$$F = \frac{L M T^{-2}}{L^3 M^{1/2} T^{-1}} = L^{-1} M^{1/2} \; T^{-1}.$$

Beispiel: In einem Punkte sind 3 elektrostatische *CGS*-Einheiten der Elektricitätsmenge koncentriert. Welche Intensität des magnetischen Feldes bringt dieser Punkt in 10 *cm* Entfernung hervor?

$$\frac{3 \; C^{3/2} \; G^{1/2} \; S^{-1}}{10^2 \; C^2} = 0{\cdot}03 \; C^{-1/2} \; G^{1/2} \; S^{-1}.$$

106. Kapacität. Unter der elektrischen Kapacität eines Leiters versteht man die Elektricitätsmenge $L^{3/2} \; M^{1/2} \; T^{-1}$, welche aufgewendet werden muss, um das Potential $L^{1/2} \; M^{1/2} \; T^{-1}$ herzustellen. Die Kapacität

ist der Elektricitätsmenge gerade, dem Potential verkehrt proportional. Damit ergibt sich die Dimensionsformel:

$$\frac{L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}}{L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}} = L.$$

Beispiel: Es ist die Kapacität eines Leiters anzugeben, dessen Potential von 20 absoluten elektrostatischen CGS-Einheiten mittelst einer Ladung von 80 elektrostatischen CGS-Einheiten der Elektricitätsmenge gebracht wurde.

$$C = \frac{80\ C^{3/2}\ G^{1/2}\ S^{-1}}{20\ C^{1/2}\ G^{1/2}\ S^{-1}} = 4\ C.$$

107. Widerstand. Die Dimension des Widerstandes folgt aus dem Ohm'schen Gesetze. Der Widerstand zwischen zwei Querschnitten eines Leiters hängt von der Potentialdifferenz $L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$ dieser zwei Querschnitte und von der Stromstärke $L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}$ ab. Nach dem eben genannten Gesetze ist der Widerstand der Potentialdifferenz gerade, der Stromstärke verkehrt proportional und hat somit die Dimension:

$$\frac{L^{1/2}\ M^{1/2}\ T^{-1}}{L^{3/2}\ M^{1/2}\ T^{-2}} = L^{-1}\ T.$$

Beispiel: Welchen Widerstand hat ein Leiter, wenn derselbe von 10^5 elektrostatischen CGS-Einheiten der Stromstärke durchflossen wird und an seinen Enden eine Potentialdifferenz von 3.10^{-3} elektrostatischen CGS-Einheiten auftritt?

$$\frac{3.10^{-3}\ C^{1/2}\ G^{1/2}\ S^{-1}}{10^5\ C^{3/2}\ G^{1/2}\ S^{-2}} = 3.10^{-8}\ C^{-1}\ S.$$

IV. Kapitel.

Elektromagnetische Einheiten.

108. Stromstärke. Der Aufstellung der elektromagnetischen Einheiten liegt, ihrer Benennung entsprechend, das Gesetz der Wechselwirkung zwischen Strömen und Magneten (§. 40) zugrunde. Befindet sich ein magnetischer Pol m im Mittelpunkte eines kreisförmig geschlossenen Leiters, so ist die Kraft p (§. 40), welche auf den Pol wirkt,

$$p = \frac{m.i.l.\sin\vartheta}{r^2}$$

Diese Formel übergeht (33, Zeile 15 v. o.) in die Formel:

$$i = \frac{p.r^2}{m.l}.$$

Hierin stellen r eine Länge, p eine Kraft und m die Menge des Magnetismus vor, deren Einheiten bereits abgeleitet wurden.

Die Einheit der Stärke eines Stromes J in einem Leiter von der Länge L übt demnach auf die Einheit des Magnetismus m in der Entfernung L die Kraft P aus und zwar so, dass

$$P = \frac{LJm}{L^2} \text{ oder } J = \frac{P.L}{m} = \frac{PL}{P^{1/2}L} = P^{1/2} = \frac{M^{1/2} L^{1/2}}{T} = L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}.$$

Die praktische Einheit der Stromstärke 1 Ampère $=$ $= \frac{1}{10}$ der Einheit im *CGS*-System.

109. Elektricitätsmenge. Unter der Elektricitätsmenge E versteht man jene Elektricitätsmenge, die bei der Stromstärke $L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}$ in der Zeit T durch den Querschnitt des Leiters fließt. Die Einheit der Elektricitätsmenge ist diesen Bestimmungsstücken proportional und hat demnach die Dimension

$$E = L^{1/2} M^{1/2} T^{-1} T = L^{1/2} M^{1/2}.$$

Aus dieser Elektricitätsmenge geht die absolute elektromagnetische Einheit der Elektricitätsmenge hervor, wenn man anstatt der Stromstärke die absolute Einheit derselben und anstatt der Zeit die Zeiteinheit einführt.

Nimmt man als Stromstärke eine absolute elektromagnetische *CGS*-Einheit an, dann fließt in der Sekunde durch den Querschnitt des Leiters eine absolute elektromagnetische *CGS*-Einheit der Elektricitätsmenge.

$\frac{1}{10}$ Einheiten des *CGS*-Systems $= 1$ Coulomb.

110. Elektromotorische Kraft (Spannung, Spannungsdifferenz, elektrisches Potential, Potentialdifferenz). In einer elektrischen Maschine (Fig. 84 bis 87) ist folgende Anordnung getroffen: Innerhalb eines magnetischen Feldes von der Intensität $\mathfrak{H}$ befindet sich ein Leiter W_1, Fig. 84, von der Länge L. Der Leiter soll mit einer Geschwindigkeit v so bewegt werden, dass derselbe von der Richtung der magnetischen Kraft (Richtung der Kraftlinien) senkrecht geschnitten wird. Durch die Rotation des Leiters in dem magnetischen Felde ergibt sich ein Unterschied in den Potentialwerten an den Enden des inducierten Leiterstückes

$$V = V_1 - V_2.$$

Die entstehende Potentialdifferenz ist den Größen HL und v proportional.

$V = V_1 - V_2 =$ Konst. $H \,.\, L \,.\, v$, welche Gleichung in die folgende: $V = HLv$ übergeht, wenn die Konstante $= 1$ gesetzt wird, d. h. wenn jene Spannungsdifferenz $= 1$ ist, welche bei der obigen Bewegung eines Leiters von der Länge $= 1$ in einem magnetischen Felde von der Intensität $= 1$ bei der Geschwindigkeit $= 1$ in diesem Leiter entsteht. Die Dimension eines Potentialunterschiedes ist demnach: $L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1} L \,.\, L T^{-1} = L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}$ und im *CGS*-Systeme ist die Einheit der elektromotorischen Kraft $= C^{3/2} G^{1/2} S^{-2}$, dabei ist jene elektromotorische Kraft als Einheit eingeführt, welche in einem Leiterstücke von der Länge 1 Centimeter in einem magnetischen Felde von der Intensität 1 mit einer Geschwindigkeit von 1 Centimeter in der Sekunde reduciert wird.

Als praktische Einheit gilt:

$$1 \text{ Volt} = 10^8 \; C^{3/2} G^{1/2} S^{-2}.$$

Die Gleichheit der Dimensionen für die elektromotorische Kraft und das Potential ergibt sich schon aus der Definition der letzteren, nach welcher eine elektromotorische Kraft die Differenz zweier Potentiale darstellt.

111. Induktionskoëfficient. Die Ursache der gegenseitigen (§. 64) und der Selbstinduktion (§. 65) ist eine elektromotorische Kraft. Die elektromotorische Kraft der Induktion e ist den Änderungen der Stromstärke i in einem unendlich kleinen Zeittheilchen t proportional, d. h.:

$$e = C\frac{i}{t},$$

worin C einen Proportionalitätsfaktor, den Koëfficienten der Induktion vorstellt. Für den Koëfficienten der gegenseitigen Induktion wählt man gewöhnlich den Buchstaben M, für den der Selbstinduktion den Buchstaben L.

Aus der obigen Formel folgt: $C = \frac{et}{i}$.

Die Dimension des Induktionskoëfficienten (Koëfficient der gegenseitigen und Selbstinduktion) ist demnach:

$$\text{Dimension } C = \frac{L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}}{L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}} \cdot T = L.$$

Die Dimension des Induktionskoëfficienten stellt somit eine Länge dar.

Die praktische Einheit der Induktionskoëfficienten wird Quadrant genannt;

$$1 \text{ Quadrant} = 10^9 \; C.$$

Der in Chicago, anlässlich der Weltausstellung 1893 abgehaltene elektrotechnische Congress hat für die Einheit der Induktionskoëfficienten, dem erfolgreichen Forscher auf dem Gebiete der Induktion höherer Ordnung (§. 79) J. Henry zu Ehren, die Benennung Henry eingeführt:

$$1 \text{ Henry} = 1 \text{ Quadrant} = 10^9 \, C.$$

112. Widerstand und Leitungsfähigkeit. Die Dimension eines Widerstandes ergibt sich aus dem Ohm'schen Gesetze:

$$1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampère}}.$$

Die Einheit des Widerstandes ist demnach jener Widerstand, in welchem die Einheit der elektromotorischen Kraft 1 Volt, die Einheit der Stromstärke 1 Ampère erzeugt.

Dimension des Widerstandes $= \frac{M^{1/2} L^{3/2}}{T^2} \cdot \frac{T}{L^{1/2} M^{1/2}} = \frac{L}{T} =$
$= L T^{-1}$.

Aus dieser Form geht hervor, dass Widerstand und Geschwindigkeit dieselbe Dimension haben.

Als praktische Einheit des Widerstandes gilt

1 internationales Ohm $= 10^9$ *CGS*-Einheiten.

1 internationales Ohm $=$ 1·063 *SE.* (§. 33)

1 *SE.* $=$ 0·94073 internationales Ohm.

Für den specifischen Widerstand gelten vorzugsweise zwei Einheiten:

1. Der Widerstand eines Würfels vom Volumen Eins. Für den Widerstand besteht die Beziehung. (§. 33)

$$w = \frac{c\,l}{q}, \text{ worin}$$

$c =$ Specifischer Widerstand. Aus dieser Gleichung folgt:

$c = \frac{w\,q}{l}$ und für den Widerstand und den Querschnitt ihre Dimensionen $W = L\,T^{-1}$ und $Q = L^2$ eingesetzt:

$$C_0 = \frac{L\,T^{-1}\,L^2}{L} = L^2\,T^{-1}.$$

Für das *CGS*-System folgt demnach die Dimensionsformel: $W = C\,S^{-1}$ und für den specifischen Widerstand $W_0 = C^2\,S^{-1}$. Die Einheit des specifischen Widerstandes $W_0 = C\,S^{-1}\,C =$ Ohm-*Cm*; man nennt deshalb die Einheit des specifischen Widerstandes 1 Ohm bezogen auf das Centimeter oder 1 Ohmcentimeter.

2. In der Praxis wählt man zumeist für die zu messenden Drahtwiderstände als Einheit des specifischen Widerstandes den Widerstand eines Prismas von der Länge 1 *m* und dem Querschnitte eines mm^2. Diese Einheit steht außerhalb des *CGS*-Systems und wird mit C bezeichnet.

Den reciproken Wert des Widerstandes, also den Wert $\frac{1}{W}$ nennt man Mho;

$$1\,\text{Mho} = \frac{1}{1\,\text{Ohm}}.$$

Der reciproke Wert des specifischen Widerstandes heißt Leitungsfähigkeit $= \frac{1}{C}$.

1. Tabelle.

Leiter	Widerstands-Koëfficient bei 0° in Mikrohmcm.	Leitungsfähigkeit bei 0° in Megamhocm.	Widerstand von 1 *m* bei 1 mm^2 0° in S. E.	Leitungsfähigkeit bezogen auf *Hg* 0°
Aluminium, käuflich	3·000000	0·3333333	0·0318900	31·671300
Aluminiumbronze	11·700000	0·0854700	0·1243710	8·0404000
Antimon	42·700000	0·0234190	0·4539010	2·2031000
Blei, gepresst	20·760000	0·0481000	0·2206790	4·5300000
Cadmium	19·000000	0·0526300	0·2019700	4·9510000
Eisen, rein	9·725000	0·1028200	0·1033770	9·6700000
Eisendraht, schwedisch	9·166000	0·1090900	0·0974350	10·2600000
Eisendraht, gewöhnlich	12·402000	0·0806000	0·1318420	7·5848470
Gold, geglüht	2·047400	0·4884240	0.0217635	45·9484000
Gold, hart	2·084800	0·4796600	0·0221614	45·1234000
Graphit	1200·000000 bis 94000·000000	0·000833 bis 0·0000106	12·7560000 bis 999·2200000	0·0786600 bis 0·0010008
Kobalt	—	—	—	9·7000000
Kohle, Mittelwert	5200·000000	0·0001923	55·2760000	0·0181000
Kruppin	85·000000	0·0117600	0·9027000	1·1110000
Kupfer, rein	1·533000	0·6523000	0·0167060	59·8500000
Kupfer, käuflich	1·640000	0·6097000	0·0174332	57·4000000
Magnesium	4·500000	0·2220000	0 0478350	21·1100000
Mangankupfer	39·600000	0·0252700	0·4209480	2·3800000
Mangankupfer	100·200000	0·0099800	1·0651260	0·9400000
Messingdraht	6·900000	0·1449200	0·0733500	13·6340000
Neusilber (60·30 *Cu*, 25·37 *Zn*, 14·03 *Ni*, 0·30 *Fe*)	29·053000	0·0344200	0·3088300	3·2379900
Neusilber (60 *Cu*, 15 *Ni*, 25 *Zn*)	29·800000	0·0335500	0·3168000	3·1565700
Nickel, geglüht	12·500000	0·0800000	0·1328750	7·5250000
Nickelin (62 *Cu*, 18 *Ni*, 20 *Zn*)	33·600000	0·0297620	0·3480960	2·8700000

2. Tabelle.

Leiter	Widerstands-Koëfficient bei 0° in Mikrohmcm.	Leitungsfähigkeit bei 0° in Megamhocm.	Widerstand von 1 *m* bei 1 mm^2 0° in S. E.	Leitungsfähigkeit bezogen auf *Hg* 0°
Nickelkupfer (Konstantan, 60 *Cu*, 40 *Ni*)	58·600000	0·0170410	0·6237680	1·6030900
Nickelmangankupfer (Manganin, 84 *Cu*, 4 *Ni*, 12 *Mn*)	38·700000	0·0258390	0·4113810	2·4308400
Palladium, Mittelwert	12·100000	0·0826440	0·1286230	7.7777777
Patentnickel (Basse & Salve, 74·12 *Cu*, 0·23 *Zn*, 25·10 *Ni*, 0·13 *Mn*, 0·42 *Fe*)	32·800000	0·0304870	0·3486640	2·8670000
Phosphorbronze	—	—	—	8·0000000 13·0000000
Phosphorbronze (Lazare Weiller)	—	—	—	18·0000000
Platin	11·500000 bis 16·600000	0·0869500 bis 0·0602400	0·1222450 0·1764580	8·1803000 5·6670800
Platin-Iridium (90 *Pt*, 10 *Ir*)	18·400000 bis 22·400000	0·0543500 bis 0·0446000	0·1960000 bis 0·2380000	5·1130000 bis 4·2174000
Platin-Rhodium (90 *Pt*, 10 *Rh*)	9·900000	0·1010101	0·1050000	9·5020000
Platin-Silber (85 Vol. Proc. *Ag*, 15 Vol. Proc. *Pt*)	22·400000 bis 22·400000	0·0446400 0·0446400	0·2381000 0·2381000	4·2174000 4·2174000
Quecksilber	94·073000	0·0106300	0·9999999	1·0000000
Rheotan (Geitner)	40·376000	0·0247670	0·4291970	2·3299300
Silber, geglüht	1·508500	0·6629100	0·0160350	62·3636363
Silber, hart	1·632000	0·6127450	0·0173480	57·6430100
Siliciumbronze	—	—	—	38·5000000
Stahldraht, hart	17·386000	0·0575200	0·1848000	5·4108910
Thermotan (Geitner)	52·300000	0·0191200	0·5559490	1·7988200
Tellur	—	—	—	0·0004000
Wismuth, gepresst	31·480000	0·0317660	0·3346324	2·9883500
Zink, gepresst	5·566000	0·1796620	0·0591666	16·9010000
Zinn	13·358000	0·0748600	0·1419960	7·0424700

3. Tabelle.

Leiter	Widerstand von 1 *m* bei 1 mm^2 0° in Ohm	Leitungsfähigkeit, bezogen auf Ohm 0°	Widerstand von 1 *m* bei 1 mm^2 15° in Ohm	Leitungsfähigkeit, bezogen auf Ohm 15°
Aluminium, käuflich	0·030000	33·333333	0·0317550	31·522000
Aluminiumbronze	0·117000	8·547000	0·1182290	8·441000
Antimon	042·7000	2·341900	0·4526200	2·209300
Blei, gepresst	0·207600	4·816900	0·2197450	4·555555
Cadmium	0·190000	5·263100	0·2014000	4·965249
Eisen, rein	0·097250	10 282000	0·1038140	9·670000
Eisendraht, schwedisch	0·091660	10·909000	0·0978470	10·260000
Eisendraht, gewöhnlich	0·124000	8·063200	0·1324000	7·552870
Gold geglüht	0·020474	48·842000	0·0216000	46·296300
Gold, hart	0·020848	47·966200	0·0220000	45·454500
Graphit	12·000000 bis 940·000000	0·083500 bis 0·001064	12·1260000 bis 949·8700000	0·082460 bis 0·001053
Kobalt	0·097000	—	—	—
Kohle, Mittelwert	52·000000	0·019230	51·6880000	0·019450
Kruppin	0·850000	0·011760	0·8500000	0·011760
Kupfer, rein	0·015330	65·230000	0·0163000	61·350000
Kupfer, käuflich	0·016400	60·900000	0·0174332	57·400000
Magnesium	0·045000	2·222000	0·0476325	20·994000
Mangankupfer	0·396000	2·532700	0·3960000	2·532700
Mangankupfer	1·002000	0·998000	1·0020000	0·998000
Messingdraht	0·069000	14·492700	0·0706000	14·174000
Neusilber (60·30 *Cu.*, 25·37 *Zn*, 14·03 *Ni*, 0·30 *Fe*)	0·290530	3·441980	0·3010000	3·332226
Neusilber (60 *Cu*, 15 *Ni*, 25 *Zn*)	0·298000	3·355700	0·2996000	3·338100
Nickel, geglüht	0·125000	8·000000	0·1317500	7·590000
Nickelin (62 *Cu*, 18 *Ni*, 20 *Zn*)	0·336000	2·970000	0·3361500	2·975570

4. Tabelle.

Leiter	Widerstand von 1 *m* bei 1 mm^2 0° in Ohm	Leitungsfähigkeit, bezogen auf Ohm 0°	Widerstand von 1 *m* bei 1 mm^2 15° in Ohm	Leitungsfähigkeit bezogen auf Ohm 15°
Nickelkupfer (Konstantan, 60 *Cu*, 40 *Ni*)	0·586800	1·740410	0·5868000	1·740410
Nickelmangankupfer (Manganin, 84 *Cu*, 4 *Ni*, 12 *Mn*)	0·387000	2·583980	0·3870000	2·583980
Palladium, Mittelwert	0·121000	8·264000	0·1261450	7·908000
Patentnickel, Basse & Selve 74·12 *Cu*, 0·23 *Zn*, 25·10 *Ni*, 0·13 *Mn*, 0·42 *Fe*)	0·328000	3·048700	0·3289840	3·039670
Phosphorbronze	0·072000 bis 0·117000	—	—	—
Phosphorbronze (Lazare Weiller)	0·052000	—	—	—
Platin	0·115000 bis 0·166000	8·695000 bis 6·024090	0·1191400 bis 0·1747150	8·393500 bis 5·724190
Platin-Iridium (90 *Pt*, 10 *Jr*)	0·184000 bis 0·224000	5·435000 bis 4·4693	0·1870000 bis 0·2280000	5·338700 bis 4·385300
Platin-Rhodium (90 *Pt*, 10 *Rh*)	0·099000	1·010101	0·1000000	10·000000
Platin-Silber (85 Vol. Proc. *Ag.* 15 Vol. Proc. *Pt.*)	0·224000 bis 0·224000	4·464300 bis 4·464300	0·2246700 bis 0·2250000	4·450930 bis 4·404300
Quecksilber	0·940730	1·063000	0·9531500	1·049100
Rheotan (Geitner)	0·403760	2·476718	0·4051000	2·468000
Silber, geglüht	0·015085	66·291000	0·0159000	62·893100
Silber, hart	0·016320	61·274500	0·0172000	58·139500
Siliciumbronze	0·020000	—	—	—
Stahldraht, hart	0·173860	5·751750	0·1843000	5·425930
Thermotan (Geitner)	0·523000	1·912046	0·5231600	1·911470
Tellur	235·180000	—	—	—
Wismuth, gepresst	0·314800	3·176600	0·3290000	3·039500
Zink, gepresst	0·055660	17·966000	0·0590000	16·949000
Zinn	0·133580	7·486150	0·1420000	7·042253

5. Tabelle.

Leiter	Widerstandszunahme in % für 1°	α aus der Formel $w_t = w_0\ (1 + \alpha t)$
Aluminium, käuflich	0·390000	0·0039000
Aluminiumbronze	0·070000	0·00070000
Antimon	0·400000	0·0040000
Blei, gepresst	0·389000	0·0039000
Cadmium	0 400000	0·0040000
Eisen, rein	0·449000	0·0045000
Eisendraht, schwedisch	0·450000	0 0045000
Eisendraht, gewöhnlich	0·458000	0·0045000
Gold, geglüht	0·569000	0·0037000
Gold, hart	0·378000	0·0037000
Graphit	7·000000	0·0007000
Kohle, Mittelwert	—0·040000	—0·0004000
Kruppin	ganz gering	0·0007007
Kupfer, rein	0·421000	0·0041900
Kupfer, käuflich	0·420000	0·0042000
Magnesium	0·420000	0·0039000
Mangankupfer	sehr gering	sehr gering bei 17° C = 0
Mangankupfer	sehr gering	sehr gering
Messingdraht	0·154000	0·0015000
Neusilber (60·30 *Cu*, 25·37 *Zn*, 14·03 *Ni*, 0·30 *Fe*)	0·240200	0·0003250
Neusilber (60 *Cu*, 15 *Ni*, 25 *Zn*)	0·035000	0·0003500
Nickel, geglüht	0·360000	0·0036000
Nickelin (62 *Cu*, 18 *Ni*, 20 *Zn*)	0·002970	0·0003000

6. Tabelle.

Leiter	Widerstands-zunahme in % für 1°	α aus der Formel $w_t = w_0 (1 + \alpha t)$
Nickelkupfer (Konstantan, 60 *Cu*, 40 *Ni*)	ganz gering	+0·0001000 bis —0·0001000
Nickelmangankupfer (Manganin, 84 *Cu*, 4 *Ni*, 12 *Mn*)	ganz gering	sehr gering bei +8° = 0
Palladium, mittelwert	0·300000	0·0030000
Patentnickel (Basse & Selve, 74·12 *Cu*, 0.23 *Zn*, 25·10 *N*, 0·13 *Mn*, 0·42 *Fe*)	0·020000	0·0002000
Platin	0·240000 0·350000	0·0024000 0·0035000
Platin-Iridium (90 *Pt*, 10 *Ir*)	0·120000 0·120000	0·0012000 0·0012000
Platin-Rhodium (90 *Pt*, 10 *Rh*)	0·060000	0·0010000
Platin-Silber (85 Vol. Proc. *Ag*, 15 Vol. Proc. *Pt*)	0·022400 0·030000	0·0002000 0·0003000
Quecksilber	0.086790	0·0008800
Rheotan (Geitner)	0·022110	0·0002200
Silber, geglüht	0·360100	0·0036000
Silber, hart	0·359000	0·0036000
Siliciumbronze	—	—
Stahldraht, hart	0·400320	0·0040000
Thermotan (Geitner)	—0·002009	—0·0000200
Wismuth, gepresst	0·300000	0·0030000
Zink, gepresst	0·390000	0·0040000
Zinn	0·481100	0·0042000

Die vorstehenden sechs Tabellen[1]) bringen Angaben über specifische Widerstände, Leitungsfähigkeiten, Widerstandszunahmen und Temperaturkoëfficienten einer Reihe von Leitern. Die Temperatur ist stets in 0° Celsius angenommen. Zur Erklärung der einzelnen Kolonnen der Tabellen wollen wir voraussetzen, dass eine Messung eines Kupferdrahtes von 1 *mm* und 1 mm^2 bei 0° C. einen Widerstand von 0·016 Ohm und bei 15° C. einen Widerstand von 0·0174332 Ohm ergeben habe. Auf dieses Kupfer sind die nachstehenden Erläuterungen zunächst bezogen.

Zur Kolonne 1 der ersten und zweiten Tabelle. Widerstandskoëfficient bei 0° in Mikrohmcm. Nach Annahme ist der Widerstand von 1 *m* bei 1 mm^2 bei 0° = 0·0164 Ohm.

Ein Würfel aus Kupfer von 1 cm^3 (1 Ohmcm) muss demnach (§. 33) den Widerstand $w = \frac{c\,l}{q} = \frac{0{\cdot}0164.0{\cdot}01}{100} = 0{\cdot}00000164$ Ohmcm = 1·64 Mikrohmcm haben. Die Zahl 1·64 steht deshalb in der ersten Kolonne bei dem Kupfer der ersten Tabelle. Aus dem Widerstande von 1 *m* und 1 m^2 eines Leiters bei 0° erhält man demnach die Mikrohmcm, indem man den Decimalpunkt um zwei Stellen weiter nach rechts rückt.

Zur Kolonne 2 der ersten und zweiten Tabelle. Leitungsfähigkeit bei 0° C. in Megamhocm. Nach dem obigen beträgt der Widerstand von 1 *m* und 1 mm^2 bei 0° 0·00000164 Ohmcm. Der specifische Widerstand hat demnach den Wert $\frac{1}{0{\cdot}00000164} = 609700$ Mhocm = 0·6097 Megamhocm und erreicht deshalb den für Kupfer in der zweiten Kolonne angegebenen Wert. Wir können die letzte Gleichung auch so schreiben: $\frac{1}{0{\cdot}00000164} . 10^6 = \frac{1}{1{\cdot}64}$ Megamhocm, d. h.:

Man findet die Megamhocm der zweiten Kolonnen dieser Tabellen, indem man die reciproken Werte der Mikrohmcm der ersten Kolonne bildet.

Zur Kolonne 3 der ersten und zweiten Tabelle. Widerstände von 1 *m* bei 1 mm^2 bei 0° in *S. E.* Bekanntlich (§. 33) ist

$$1 \text{ Ohm} = 1{\cdot}063 \; S.\,E.$$

Der Widerstand von 1 *m* und 1 mm^2 bei 0° = 0·0164 Ohm nach Annahme. 0·0164 Ohm sind deshalb gleich

---

[1]) Die Zahlen der ersten und vierten Kolonne der dritten und vierten Tabelle wurden zum größten Theil aus Leo Grunmach „Lehrbuch der magnetischen und elektrischen Maßeinheiten, Messmethoden und Messapparate“ aufgenommen. Sämmtliche Angaben über Kruppin, Manganin, Nickelkupfer (Konstantan), Rheotan und Siliciumbronze sind eigener Bestimmung des Verfassers. Die weiteren Zahlen wurden von demselben berechnet.



$0{\cdot}0164 \times 1{\cdot}063 = 0{\cdot}0174332$ *S. E.*, entsprechend der Zahl für Kupfer in der dritten Kolonne der ersten Tabelle.

Zur Kolonne 4 der ersten und zweiten Tabelle. Leitungsfähigkeit 0°, bezogen auf *Hg* (Quecksilber) 0°. Ein Kupferleiter hat dann die Leitungsfähigkeit 57·4, bezogen auf *Hg*, wenn die betreffende Kupfersorte bei 0° *C* 57·4mal besser leitet als Quecksilber von gleichen Abmessungen und gleicher Temperatur. Ein Quecksilber-Prisma von 1 *m* und 1 *mm*² hat bei 0°C 1 S E. (§. 33), ein Kupferdraht dagegen von 1 *m* und 1 *mm*² besitzt bei 0°C einen Widerstand von 0·0174332 S E. Das Kupfer leitet demnach $\frac{1}{0{\cdot}0174322} = 57{\cdot}4$mal besser als das Quecksilber. 57·4 ist der Wert für Kupfer in der vierten Kolonne und zugleich der reciproke Wert jenes der dritten Kolonne.

Zur Kolonne 1 der dritten und vierten Tabelle. Widerstand von 1 *m* bei 1 *mm*² 0° in Ohm. Dieser Widerstand beträgt nach Annahme 0·0164 Ohm.

Zur Kolonne 2 der dritten und vierten Tabelle. Leitungsfähigkeit, bezogen auf Ohm bei $0° = \frac{1}{0{\cdot}0164} = 60{\cdot}9$.

Zur Kolonne 3 der dritten und vierten Tabelle. Widerstand von 1 *m* bei 1 *mm*² 15°C in Ohm. Dieser Widerstand beträgt nach Annahme 0·0174332 Ohm, sowie es auch die dritte Kolonne angibt.

Zur Kolonne 4 der dritten und vierten Tabelle. Leitungsfähigkeit, bezogen auf Ohm 15°C. Nach dem Begriffe der Leitungsfähigkeit ist diese Leitungsfähigkeit $= \frac{1}{0{\cdot}0174322} = 57{\cdot}4$, das ist der in der dritten Tabelle enthaltene Wert.

Zur Kolonne 1 der fünften und sechsten Tabelle. Widerstandszunahme in % für 1° C.

Der Widerstand von 1 *m* 1 *mm*² $0° = W_0 = 0{\cdot}0164$ Ohm (Kolonne 1 der dritten Tabelle).

Der Widerstand von 1 *m* 1 *mm*² $15° = w_{15} = 0{\cdot}0174332$ (Kolonne 3 der dritten Tabelle).

Die Differenz der Widerstände für 15 °C = 0·010332.

" " " " " $1\ °C = \frac{0{\cdot}010332}{15} = 0{\cdot}0000688$.

1% von 0·0164 Ohm = 0·000164 Ohm.

Demnach sind

0·0000688 : 0·000164 = 0·420% = p%, d. i. der in der Tabelle fünf Kolonne 1 wiedergegebene Wert. Wir erhalten demnach für die Widerstandszunahme in % für 1° C die Formel: $p = \frac{100}{15}\left(\frac{w_{15}}{w_0} - 1\right)$.

Zur Kolonne 2 der fünften und sechsten Tabelle. α aus der Formel $w_t = w_0\ (1 + \alpha t)$. Für den Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur gilt die allgemeine Formel:

$$w_t = w_0\ (1 + \alpha t + \beta t^2).$$

Innerhalb mäßiger Temperatursunterschiede (0° bis 30°) rechnet man für praktische Zwecke mit der Formel:

$$w_t = w_0\ (1 + \alpha t), \text{ worin}$$

w_t = Widerstand bei t^0, w_0 = Widerstand bei 0° und α = Temperaturskoëfficient = Widerstandsänderung bei Änderung der Temperatur um 1 °C; der letztere ist für die meisten Metalle rund 0·003824 und für Kohle, Thermotan und einige Mangan- und Nickelkupfer-Legierungen negativ. Damit erscheint auch die Thatsache begründet, dass der Widerstand einer Glühlampe im heißen Zustande kleiner ist als im kalten, während bei fast sämmtlichen Metallen und Legierungen der Widerstand mit der Temperatur zunimmt. Aus der obigen Formel folgt:

$$\pm \alpha = \frac{\frac{w_t}{w_0} - 1}{t} = \frac{\frac{0{\cdot}0174332}{0{\cdot}0164} - 1}{15} = 0{\cdot}0042,$$

die Zahl der zweiten Kolonne der fünften Tabelle.

Untersuchungen der physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg: Legierungen aus Kupfer und Nickel oder Kupfer und Mangan besitzen die größte Beständigkeit und die geringsten Temperaturskoëfficienten; das zinkhaltige Neusilber und Nickelin haben die obigen Eigenschaften nicht. Für die Widerstandsveränderung des Quecksilbers gilt die genaue Formel:

$$w_t = w_0\ (1 + 0{\cdot}0008827\, t + 0{\cdot}00000126\, t^2).$$

Widerstände von Manganlegierungen der Isabellenhütte bei Dillenburg:

1. Mangankupfer: 12% (12·3 *Mn*, 87·4 *Cu*);
   $w = 43\ [1 - 0{\cdot}00000049\ (t - 36^0)^2]$ Mikrohmcm.
   $w_t = w_0\ [1 + 0{\cdot}00002\, t - 0{\cdot}0000006\, t^2]$ Mikrohmcm
2. Mangankupfer: 30% (30 *Mn*, 68·6 *Cu*);
   $w = 107\ [1 - 0{\cdot}00000059\ (t - 70^0)^2]$ Mikrohmcm.
3. Nickelmangankupfer (Manganin): (4 *Ni*, 12 *Mn*, 84 *Cu*);
   $w = 47\ [1 - 0{\cdot}00000053\ (t - 16^0)^2]$ Mikrohmcm.
   $w_t = w_0\ (1 + 0{\cdot}000015\, t - 0{\cdot}0000009\, t^2)$.

4. Nickelkupfer (Konstantan): Basse & Selve (60 *Cu*, 40 *Ni*)

$$w_t = w_0 \, (1 + 0{\cdot}000025\, t).$$

Bemerkung zu den Tabellen: In den Tabellen 1 bis 4 sind die Zahlen der zweiten und vierten Kolonnen die reciproken Werte der Zahlen der ersten und zweiten Kolonnen. Aus der ersten Tabelle ist es ersichtlich, dass der Widerstand des käuflichen Kupfers bei 0° C = 0·0174332 SE; aus der zweiten Tabelle folgt, dass der Widerstand dieses Kupfers bei 15° C = 0·0174332 Ohm. Diese beiden Zahlen sind einander gleich[1]). Wie ich aus den Tabellen ersehe, gilt die Regel für alle reinen Metalle und für die zugehörigen Leitungsfähigkeiten mit großer Annäherung; für deren Temperaturskoëfficienten fand Clausius den Wert 0·0038. Für praktische Zwecke genügt demnach bei den reinen Metallen eine einzige Messung bei rund 15° C zur Berechnung sämmtlicher Kolonnen der Tabellen 1 bis 6. Aus dem Widerstande bei 15° kann man bei den reinen Metallen den Widerstand auf zwei Wegen finden:

1. Man rechnet den Widerstand w_0 aus der Formel:

$$w_0 = \frac{wt}{1 + \alpha t}.$$

2. Da der Widerstand bei 15° C gleich ist den SE bei 0° C und 1 SE = 0·94073 Ohm, so muss $w_0 = 0{\cdot}94073 . w_{15}$ sein.

113. Kapacität. In der Wärmelehre nennt man kalorische Kapacität jene Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur eines Körpers um 1° C. zu erhöhen; ähnlich nennt man elektrische Kapacität jene Elektricitätsmenge, mit welcher ein Leiter geladen wird, wenn sein Potential um die Einheit steigt.

$$\text{Kapacität} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{Volt}} \; (\S\, 37, \text{S. } 25).$$

Daraus ergibt sich mit Bezug auf die Dimensionen von Coulomb (§ 109) und Volt (§ 110):

$$\text{Dimension der Kapacität} = \frac{L^{1/2} M^{1/2}}{L^{3/2} M^{1/2} T^{-2}} = L^{-1} T^2$$ oder im *CGS*-System:

$$\text{Kapacitätseinheit} = C^{-1} S^2.$$

Die praktische Einheit der Kapacität ist das Farad.

$$1 \text{ Farad} = 10^{-9} \, C^{-1} S^2 = 1 \text{ F und}$$

$$1 \text{ Mikrofarad} = 10^{-15} C^{-1} S^2 = 1 \, Mf.$$

Ein Kondensator[2]) aus Zinnfolie und paraffiniertem Papiere hat bei ungefähr 1·5 m^2 Belegfläche und etwa 0·1 *mm* Dicke des paraffinierten Papieres 1 Mikrofarad Kapacität.

---

[1]) Carl Hochenegg, Zeitschrift für Elektrotechnik, 1887, S. 13.

[2]) Dr. von Waltenhofen „Die internationalen absoluten Maße" S. 44.

114. Elektrische Arbeit. Fließt durch einen Leiter vom Widerstande W, an dessen Enden eine Spannungsdifferenz V herrscht, ein Strom von der Stromstärke A, so ist die von dem Leiter in der Zeiteinheit geleistete

Arbeit $= A \,.\, V$ und die in der Zeit t geleistete Arbeit $= A \,.\, Vt$. oder weil $V = A \,.\, W$:

$$\text{Elektrische Arbeit} = A^2 \,.\, W \,.\, t.$$

Diesen Ausdruck für die elektrische Arbeit nennt man das Joule'sche Gesetz (§ 50, S. 44).

Aus der letzten Formel ergibt sich die Dimension der elektrischen Arbeit im CGS-System:

$$\text{Dimension der elektrischen Arbeit} = \\ = C^{1/2} G^{1/2} S^{-1} \,.\, C^{1/2} G^{1/2} S^{-1} \,.\, CS^{-1} S = C^2 GS^{-2}.$$

Die praktische Einheit der elektrischen Arbeit ist

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \, C^2 GS^{-2} = 1 \text{ Volt-Coulomb} = \frac{1}{9{\cdot}81} \, mkg. \; (\S 38, \text{S.} 26).$$

115. Elektrischer Effekt. Unter dem elektrischen Effekte versteht man die in 1 Sekunde geleistete elektrische Arbeit. Aus diesem Begriffe des elektrischen Effektes folgt mit Berücksichtigung der Dimension der elektrischen Arbeit die Dimension des Effektes:

$$\text{Dimension des elektrischen Effektes} = C^2 GS^{-3}.$$

Die praktische Einheit des elektrischen Effektes ist 10^7mal so groß und heißt 1 Watt.

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Volt-Ampère} = 10^7 \, C^2 GS^{-3} = 10 \text{ Sekundenerg.}$$

Nach früherem war 1 Sekundenmeterkilogramm $= 9{\cdot}81 \,.\, 10^7 \, C^2 GS^{-3}$
und 1 PS $= 75 \,.\, 9{\cdot}81 \,.\, 10^7 \, C^2 GS^{-3}$;
daraus folgt: 1 Sekundenmeterkilogramm $= 9{\cdot}81$ Volt-Ampère,
1 PS $= 736$ „ „ .

Tabelle.

Maße	Absolute und praktische Einheiten	Verhältnis zur absoluten *CGS*-Einheit	Dimension	Zeichen
Fläche	Absolute Einheit	1	C^2	cm^2
Rauminhalt	Absolute Einheit	1	C^3	cm^3
Geschwindigkeit	Absolute Einheit	1	CS^{-1}	v
Beschleunigung	Absolute Einheit	1	CS^{-2}	g
Kraft	1 Dyn	1	CGS^{-2}	p
Arbeit	1 Erg	1	C^2GS^{-2}	ps
Effekt	1 Sekundenerg	1	C^2GS^{-3}	$\frac{ps}{t}$
—	1 Sekundenmeterkilogramm	981.10⁵	C^2GS^{-3}	mkg
—	1 *PS* (deutsch)	736.10⁷	C^2GS^{-3}	PS
—	1 *HP* (englisch)	746.10⁷	C^2GS^{-3}	HP
Wärmeäquivalent	Absolute Einheit	1	C^2S^{-2}	E
Polstärke	Absolute Einheit	1	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-1}$	μ
Stromstärke	Absolute Einheit	1	$C^{1/2}G^{1/2}S^{-1}$	
—	1 Megampère	10^5	$C^{1/2}G^{1/2}S^{-1}$	
—	1 Ampère	10^{-1}	$C^{1/2}G^{1/2}S^{-1}$	A
—	1 Mikroampère	10^{-7}	$C^{1/2}G^{1/2}S^{-2}$	
Elektricitätsmenge	Absolute Einheit	1	$C^{1/2}G^{1/2}$	
—	1 Megacoulomb	10^5	$C^{1/2}G^{1/2}$	
—	1 Coulomb	10^{-1}	$C^{1/2}G^{1/2}$	Cb
—	1 Mikrocoulomb	10^{-7}	$C^{1/2}G^{1/2}$	
Elektromotorische Kraft	Absolute Einheit	1	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-2}$	
—	1 Megavolt	10^{14}	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-2}$	
—	1 Volt	10^8	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-2}$	V
—	1 Mikrovolt	10^2	$C^{3/2}G^{1/2}S^{-2}$	
Induktionskoëfficient	1 Henry	10^9	C	M u. L
Widerstand	Absolute Einheit	1	CS^{-1}	
—	1 Megohm	10^{15}	CS^{-1}	
—	1 Ohm	10^9	CS^{-1}	Ω
—	1 Mikroohm	10^3	CS^{-1}	
Kapacität	Absolute Einheit	1	$C^{-1}S^2$	
—	1 Megafarad	10^{-3}	$C^{-1}S^2$	
—	1 Farad	10^{-9}	$C^{-1}S^2$	Φ
—	1 Mikrofarad	10^{-15}	$C^{-1}S^2$	
Elektrische Arbeit	Absolute Einheit	1	C^2GS^{-2}	
—	1 Joule	10^7	C^2GS^{-2}	VCb
Elektrischer Effekt	Absolute Einheit	1	C^2GS^{-3}	
—	1 Watt	10^7	C^2GS^{-3}	VA

Symbole der physikalischen Quantitäten und abgekürzte Bezeichnungen für die Einheiten. Empfohlen von der Kommission für die Benennungen aus der Kammer der Delegierten des internationalen Congresses der Elektrotechniker von 1893 in Chicago. [1])

Physikalische Quantitäten	Symbol	Definitions-Gleichung	Dimension der physikalischen Quantitäten	Namen der *CGS*-Einheiten	Abkürzungen für die *CGS*-Einheiten	Praktische Einheiten	Abkürzungen für die prakt. Einheiten
Fundamentale.							
Länge	L, l	—	L	Centimeter	*cm*	Meter	*m*
Masse	M	—	M	Grammasse	*g*	Kilogrammmasse	*kg*
Zeit	T, t	—	T	Sekunde	*s*	Minute, Stunde	*m*; *h*
Geometrische.							
Fläche	S, s	$S = LL$	L^2	Quadratcentimeter	cm^2	Quadratmeter	m^2
Volumen	V	$V = L.L.L$	L^3	Cubikcentimeter	cm^3	Cubikmeter	m^3
Winkel	α, β	$\alpha = \frac{\text{Bogen}}{\text{Radius}}$	eine Zahl	Radian		Grad, Minute, Sekunde, Meridiangrad	
Mechanische.							
Geschwindigkeit	v	$v = \frac{L}{T}$	LT^{-1}	Centimeter i. d. Sek.	cm/s	Meter i. d. Sek.	m/s
Winkelgeschwindigkeit	ω	$\omega = \frac{v}{L}$	T^{-1}	Radian i. d. Sek.		Touren i. d. Min.	t/m
Beschleunigung	a	$a = \frac{v}{T}$	LT^{-2}	Cm. i. d. Sek. i. d. Sek.	cm/s^2	Meter i. d. S. i. d. S.	m/s^2
Kraft	F	$F = M.A$	LMT^{-2}	Dyne	dyne	Gramm; Kilgr.	g^*; kg^*
Arbeit	W	$W = F.L$	L^2MT^{-2}	Erg	erg	Meterkilogr.	*kgm*
Effekt (Leistung)	P	$P = W/T$	L^2MT^{-3}	Erg i. d. S.	erg/*s*	Sekundenmeterkilogr.	kgm/s
Druck	p	$p = F/S$	$L^{-1}MT^{-2}$	Dyne auf das cm^2	dyne/cm^2	Kg. auf das cm^2	kg/cm^2
Trägheits-Moment	K	$K = M.L^2$	L^2M	Grammasse — cm^2	$g - cm^2$		
Magnetische.							
Polstärke	m	$F = m^2/L^2$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$	Die magnetischen und elektromagnetischen *CGS*-Einheiten haben keinen besonderen Namen erhalten. Man bezeichnet sie, indem man der Formel die Benennung: *CGS*-Einheiten hinzufügt.	Keine Abkürzungen	Keine besonderen praktischen Abkürzungen	Keine Abkürzungen
Magn. Moment	$\mathfrak{M}$	$\mathfrak{M} = m.l$	$L^{5/2}M^{1/2}T^{-1}$				
Mag. Intensität	$\mathfrak{J}$	$\mathfrak{J} = \mathfrak{M}/V$	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$				
Feldintensität	$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{H} = F/m$	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$				
Mag. Kraftfluss	Φ	$\Phi = H.S$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$				
Magnetische Induktion	$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B} = \mu\mathfrak{H}$	$L^{-1/2}M^{1/2}T -$				

[1]) Elektrotechnische Rundschau, 1894, S. 27.

Physikalische Quantitäten	Symbol	Definitions-Gleichung	Dimension der physikalischen Quantitäten	Namen der $C\ G\ S$ Einheiten	Abkürzungen für die $C\ G\ S$ Einheiten	Praktische Einheiten	Abkürzungen für die prakt. Einheiten
Magnetische.							
Magn. Permeabilität	μ	$\mu = \mathfrak{B}/\mathfrak{H}$	eine Zahl	Die magnetischen und elektromagnetischen $C\ G\ S$ Einheiten haben keinen besonderen Namen erhalten. Man bezeichnet sie, indem man der Formel die Benennung: $C\ G\ S$ Einheiten hinzufügt.	Keine Abkürzungen	Keine besonderen praktischen Abkürzungen	Keine Abkürzungen
Magn. Aufnahmefähigkeit	x	$x = \mathfrak{J}/\mathfrak{H}$	eine Zahl				
Magn. Reluktivität	ν	$\nu = \frac{1}{\mu}$	eine Zahl				
Magn. Widerstand	R	$R = \gamma \frac{L}{S}$	L^{-1}				
Elektromagnetische.							
Widerstand	$R,\ r$	$R = E/J$	LT^{-1}			Ohm	ohm
Leitungsfähigkeit	G	$G = l/R$	$L^{-1}T$			Mho	mho
Elektromotorische Kraft	$E,\ e$	$E = R.J$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}$			Volt	v
Potentialdifferenz	$U,\ u$	$U = R.J$	—			—	—
Stromintensität	$I,\ i$	$J = E/R$	$L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$			Ampère	a
Elektricitätsmenge	$Q,\ q$	$Q = J.T$	$L^{1/2}M^{1/2}$			Coulomb; Ampèrestunde	$e; A-h$
Kapacität	$C,\ c$	$C = Q/E$	$L^{-1}T^{2}$			Farad	F
Elektrische Arbeit	W	$W = EJT$	$L^{2}MT^{-2}$			Joule; Wattstunde	$J; W\text{-}h$
Elektrischer Effekt	P	$P = EJ$	$L^{2}MT^{-1}$			Watt; Kilowatt	$w; kw$
Specifischer Widerstand	ρ	$\rho = R/SL$	$L^{2}T^{-1}$			Ohm-Centimeter	ohm-cm
Specifische Leitungsfähigkeit	γ	$\gamma = l/\rho$	$L^{-2}T$			—	—
Iuduktionskoëfficient	$L,\ l$	$L = \Phi/l$	L			Henry	—
Magnetisierende Kraft	$\mathfrak{H}$	$\mathfrak{H} = 4\pi Nl/L$	$L^{-1}M^{1/2}T^{-1}$			—	—
Magnetomotorische Kraft	$\mathfrak{F}$	$\mathfrak{F} = 4\pi Nl$	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$			Ampère-Tour	$A-t$

II. Abschnitt.

Wechselströme.

I. Kapitel.

Allgemeines.

116. Methoden. Die Wechselstromprobleme werden sowohl nach der analytischen Methode (Rechnung) als auch nach der graphischen Methode (Zeichnung) gelöst. In dieser Arbeit wird vorwiegend der letztere Weg betreten. Analytisch soll z. B. die Gleichung der Wellenlinie des Näheren Erläuterung finden, weil diese Gleichung wesentlich zum Verständnisse der Wechselströme beiträgt. Die zumeist angewendeten graphischen Methoden sind die folgenden:

1. Polarkoordinatensystem (Polardiagramm) mit der Zeit als Winkel oder Amplitude, augenblicklichen Werten der Funktionen als Radienvektoren, ohne Anwendung von trigonometrischen Funktionen mit Zuhilfenahme von komplexen Größen. [1])

2. Polardiagramm (Zeuner-Diagramm der Schiebersteuerung) mit einem[2]) und mit zwei Kreisen.

3. Vektordiagramm nach Thomas H. Blakesley, Frederick Bedell, C. Crehore u. A.

4. Wellendiagramm.

Hier sollen nur die letzten drei graphischen Darstellungen Verwendung finden. Die ersten drei Methoden stimmen wesentlich miteinander überein.

117. Das einfache Sinusgesetz.

In Fig. 98 ist die Anordnung einer Dynamomaschine angedeutet.

---

[1]) Chas. Proteus Steinmetz. Elektrot. Zeitschrift, 1893, S. 597, 613, 641, 653 ff.

[2]) Chas. Proteus Steinmetz. Elektrot. Zeitschrift, 1890, S. 185 u. 189, S. 394 ff.
A. Blondel. La lumière électrique, 1892, S. 351.
Gisbert Kapp. Elektrische Wechselströme, 1894 u. 1897.

Der Induktor wurde, der Einfachheit der Darstellung halber, nur mit 4 Windungen, beziehungsweise Spulen *I*, *II*, *III* und *IV* versehen.

Der Verlauf der inducierten elektromotorischen Kraft in den einzelnen Lagen einer solchen Windung während einer Umdrehung derselben ist der folgende:

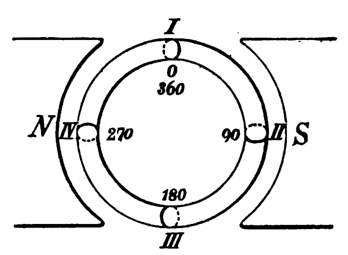


Fig. 98. Induktor zwischen den Polen *N* u. *S*.

1. In der Stellung *I* (Neutrale Zone) hat die *E. M. K.* (Elektromotorische Kraft) den Wert 0, entsprechend dem Punkte a_1, Fig. 99.

2. In den zwischen *I* und *II* gelegenen Stellungen wächst die *E. M. K.* von 0 bis auf ihren größten Wert.

3. In der Stellung *II* erreicht die *E. M. K.* den größten Wert $e_1\ e = + a$, Fig. 99.

4. In den Stellungen zwischen *II* und *III* sinkt die *E. M. K.* von ihrem größten Wert bis auf den Wert 0.

5. In der Stellung *III* ist der Wert der *E. M. K.* gleich 0 und wechselt seine Richtung in f_1, Fig. 99.

6. In den Stellungen zwischen *III* und *IV* steigt die *E. M. K.* von 0 auf ihren größten Wert.

7. In der Stellung *IV* erlangt die *E. M. K.* ihren größten Wert $g_1 \frac{3\,\pi}{2} = - a$, Fig. 99.

8. In den Stellungen zwischen *IV* und *I* sinkt die *E. M. K.* von ihrem größten Wert auf den Wert 0.

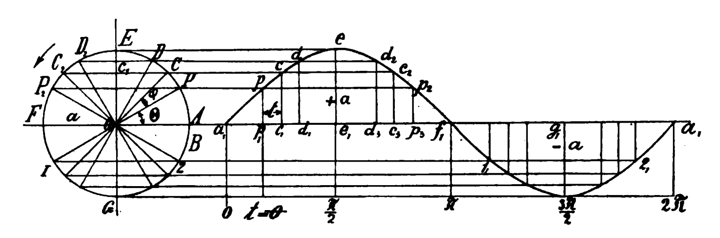


Fig. 99. Konstruktion der Sinuslinie.

9. In der Stellung *I* ist die *E. M. K.* wieder gleich 0 und wechselt seine Richtung in a_1, Fig. 99.

Tragen wir demnach, Fig. 99, diese einzelnen Werte der inducierten *E. M. K.* als Ordinaten auf einer ebenso wie den Umfang des Ankers in 360° in 360 Theile getheilt gedachten Geraden, der Abscissenaxe, auf und verbinden die Endpunkte derselben durch eine krumme Linie (Kurve),

so gibt dieses Bild den Verlauf der Induktion in einer Spule in den verschiedenen Lagen einer Windung während einer Umdrehung in einer Zeichnung (graphisch) wieder. Eine solche krumme Linie heißt man eine Wellenlinie (Sinuslinie, Sinuskurve, Sinusfunktion, periodische oder harmonische Funktion).

Die verschiedenen + (oberhalb der Geraden gelegenen) und — (unterhalb der Geraden gelegenen) Werte von 0° bis 360°, Fig. 99, umfassen eine Periode des Wechselstromes. Eine Periode ist gleich 2 Stromwechseln. Die Anzahl der Stromwechsel in den Induktorwindungen ist gleich der Anzahl der Polwechsel (dem Cyklus) im Induktoreisen. Die Anzahl der Perioden in der Sekunde heißt die Frequenz. Unter Phase der *E. M. K.* (beziehungsweise Stromstärke) versteht man die Richtung (+ oder —), die Geschwindigkeit und die Größe derselben an irgend einer Stelle ihres Verlaufes. Die Zeit, die bis zum Eintritte einer gewissen Phase verfließt, heißt Phasenzeit. Die Verzögerung einer Strom- oder einer Spannungswelle gegen eine andere oder von Strom- oder Spannungswellen gegeneinander bezeichnet man als Phasendifferenz (Phasenverschiebung). Wechselströme, welche gleiche Wechselzahl und Wellenlänge haben, nennt man Wechselströme von gleichem Rhythmus; solche Ströme werden z. B. in den sekundären Windungen eines Transformators induciert. Die Amplitude der Schwingungen ist der größte Wert der Spannung (beziehungsweise Stromstärke) innerhalb einer halben Periode.

In der Algebra und Analysis der Vektoren versteht man unter Vektor eine Größe, welcher eine Richtung im Raume zukommt. Vektoren sind z. B.: Kräfte, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen. Größen, welchen keine Richtung im Raume zukommt, heißen Skalaren; solche Größen sind: Temperatur, Masse, Widerstand, Energie. Die Vektoren lassen sich durch Strecken, die Skalaren durch Zahlen darstellen. Zur Ausmessung der Strecken bedient man sich des Maßstabes. Die einzelnen Punkte der Sinuslinie entsprechen den verschiedenen Sinuswerten (39, S. 26) in einem Kreise, dessen Radius gleich der Amplitude der Sinuslinie ist. Daher sind die einzelnen elektromotorischen Kräfte, beziehungsweise Stromstärken dem Sinus des Winkels proportional, welchen die betreffende Spule mit der Nullstellung derselben (Stellung *I*) einnimmt, d. h.:

$$E = a. \sin \Theta.$$

Der Winkel Θ stellt demnach in dieser Formel den Weg vor, welchen die betreffende Spule zurückgelegt hat. Die letzte Gleichung gilt für jeden Punkt der Wellenlinie, Fig. 99, also beispielsweise auch für den Punkt p derselben. Denken wir uns $p\, p_1$ parallel verschoben,

bis p mit P zusammenfällt, dann entsteht ein rechtwinkeliges Dreieck $O\,p\,p_1$, so dass $\frac{p\,p_1}{O\,P} = \sin\Theta$ oder $p\,p_1 = O\,P.\,\sin\Theta$ und für $O\,P = a$ und $p\,p_1 = E$ gesetzt, erhalten wir die allgemeine Form der Sinusgleichung: $E = a.\sin\Theta$, wie oben.

Es sei hervorgehoben, dass der Verlauf der elektromotorischen Kraft bezw. Stromstärke nicht ein rein periodischer (harmonischer) ist, welcher dem Gesetze der einfachen Schwingungen, dem Sinusgesetze folgt. Dieser Verlauf trifft nach Joubert für die Wechselstrommaschinen nach S. & H., welche im Anker kein Eisen besitzen, beiläufig zu, wird bei der Behandlung der Wechselstromprobleme als zulässig erklärt, und führt zu praktisch brauchbaren Resultaten. Thatsächlich weichen die Spannungs- und Stromkurven, sowie die Kurven für das harmonische magnetische Feld, bedeutend von der Form der Sinuslinie ab.

Wir bezeichnen in der Folge mit T die Zeitdauer einer Periode, mit $\frac{T}{2}$ die Wechselzeit. In dem zunächst Folgenden wählen wir A, Fig. 99, als Anfangspunkt der Zeit t, während in dieser Figur thatsächlich P als Anfangspunkt der Zeit angenommen wurde.

In	der	Zeit	$t = T$	wird	jede	Spule	den	Weg	2π	zurücklegen.
„	„	„	$t = \frac{T}{2}$	„	„	„	„	„	π	„
„	„	„	$t = \frac{T}{4}$	„	„	„	„	„	$\frac{\pi}{2}$	„
„	„	„	$t = 0$	„	„	„	„	„	0	„
„	„	„	$t = t$	„	„	„	„	„	Θ	„ .

$\Theta = \frac{2\pi t}{T}$, denn führen wir in $\Theta = \frac{2\pi t}{T}$ die einzelnen Werte $t = T$, $t = \frac{T}{2}$, $t = \frac{T}{4}$, $t = 0$, $t = t$ ein, so erhalten wir

$$\Theta = \frac{2\pi T}{T} = 2\pi,\quad \Theta = \frac{2\pi\frac{T}{2}}{T} = \pi,\quad \Theta = \frac{2\pi\frac{T}{4}}{T} = \frac{\pi}{2},\quad \Theta = \frac{2\pi 0}{T} = 0,\quad \Theta = \frac{2\pi t}{T}.$$

Setzen wir diesen Wert für Θ in die obige Gleichung

$$E = a\,.\,\sin\Theta$$

ein, so übergeht dieselbe in die folgende:

$$E = a\,.\,\sin\frac{2\pi t}{T}.$$

Die elektromotorischen Kräfte bezw. Stromstärken in den verschiedenen Stellungen der Spulen müssen dieser Gleichung Genüge leisten

Für $t = 0$ ist $E = a \cdot \sin 0 = 0.$

„ $t = \frac{T}{2}$ „ $E = a \cdot \sin \pi = 0.$

„ $t = T$ „ $E = a \cdot \sin 2\pi = 0.$

„ $t = \frac{3T}{2}$ „ $E = a \cdot \sin 3\pi = 0.$

....

„ $t = \frac{T}{4}$ ist $E = a \cdot \sin \frac{\pi}{2} = a.$

„ $t = \frac{3T}{4}$ „ $E = a \cdot \sin \frac{3\pi}{2} = a.$

„ $t = \frac{5T}{4}$ „ $E = a \cdot \sin \frac{5\pi}{2} = a. \sin 450^0 = a.$

Die elektromotorische Kraft bezw. Stromstärke erreicht demnach für den Wert a ihren größten Wert (Maximum), denn für $E = a$ muss in der Formel $E = a \cdot \sin \frac{2\pi t}{T}$, $\sin \frac{2\pi t}{T} = 1$ sein und 1 ist der größte Wert, welchen ein Sinus erreichen kann.

In der Gleichung $E = a \cdot \sin \frac{2\pi t}{T}$ bedeutet t die Zeitdauer der ganzen Bewegung und $\frac{t}{T}$ die Anzahl der Perioden. Wenn der Vektor $\overline{OA}$, Fig. 99, einen Kreis beschreibt (eine Umdrehung um O als Drehpunkt ausführt), so legt er den Weg $2\pi r$ zurück. Wir können r jeden beliebigen Wert beilegen. Setzen wir $r = 1$, so ist der Weg $2\pi r = 2\pi$. Während der Vektor $\overline{OA}$ eine Umdrehung vollführt, hat der Wechselstrom eine Periode zurückgelegt. Der in einer Sekunde von dem Vektor zurückgelegte Weg muss demnach $\frac{2\pi}{T}$ sein; den Weg aber, welchen ein Punkt am Halbmesser 1 bei einer gleichförmigen Bewegung in 1 Sekunde zurückgelegt, nennt man Winkelgeschwindigkeit (87) und bezeichnet dieselbe mit dem Buchstaben ω, d. h.:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Da T die Zeitdauer einer Periode bedeutet, werden in 1 Sekunde $\frac{1}{T}$ Perioden der harmonischen Funktion oder Umdrehungen des Vektors erfolgen. Wir wollen $\frac{1}{T}$ mit n bezeichnen. Bei einer zweipoligen

Dynamo entsprechen n-Umdrehungen in der Sekunde n-Perioden, bei einer vierpoligen dagegen 2 n-Perioden. Für die zweipolige Dynamo ist daher $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n$, für die vierpolige

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi . 2n = 4\pi n.$$

Der Punkt C, Fig. 99, hat demnach am Umfange eine gleichförmige Geschwindigkeit und seine Projektion auf den senkrechten Durchmesser $\overline{OE}$, also C_1 bewegt sich harmonisch. Dasselbe gilt von der Projektion des Halbmessers $\overline{OC}$ auf den durch O gezogenen senkrechten Durchmesser. Den Höchstwert dieser Projektion nennt man die Amplitude (Halbmesser des betreffenden Kreises). Die Projektion von $\overline{OC}$ ist gleich $\overline{OC_1}$.

Befindet sich $\overline{OC}$ in der Lage $\overline{OA}$, dann ist die Projektion von $\overline{OC}$ (jetzt $\overline{OA}$) auf den senkrechten Durchmesser $= 0$. Kommt $\overline{OC}$ nach $\overline{OE}$, so ist die Projektion von $\overline{OC}$ (jetzt $\overline{OE}$) auf den senkrechten Durchmesser $= \overline{OE}$. Diese Projektionen des Vektors $\overline{OC}$ haben demnach in den Stellungen $\overline{OA}$ und $\overline{OF}$ den Wert 0, in der Stellung $\overline{OE}$ den positiven und in der Stellung $\overline{OG}$ den negativen Höchstwert (Maximalwert). Wir können demnach harmonisch sich verändernde Größen durch eine Gerade $\overline{OA}$, Fig. 99, und durch deren Drehungsrichtung (den Pfeil in derselben Figur) darstellen. Obige Projektionen nehmen nach einer bestimmten Zeit immer wieder dieselbe Größe an, man nennt sie deshalb periodische Größen und die Bewegungen periodische Bewegungen. Solche Bewegungen zeigen z. B. Himmelskörper, Wassertheilchen im Meere, Kreuzkopf einer Dampfmaschine, elektromotorische Kraft, Stromstärke und harmonische magnetische Felder.

Betrachten wir den Punkt A, Fig. 99, als den Anfangspunkt der Zeit und bezeichnen die Projektion von $\overline{OP}$ auf $\overline{EG}$ zu einer beliebigen Zeit mit y, so ist $y = a \sin \Theta = a \sin \omega t$.

Nehmen wir P, Fig. 99, als Anfangspunkt der Zeit an, so nennt man Θ = den Epochenwinkel, die zur Zurücklegung dieses Winkels erforderliche Zeit $a_1 p_1$ Epoche und es gilt die Gleichung $y = a \sin (\varphi + \Theta) = a \sin (\omega t + \Theta)$, dann hat Θ einen positiven Wert und heißt Vorsprungs- oder Vorauswinkel. Nimmt man dagegen B als Anfangspunkt der Zeit an, so heißt dieser Winkel Θ Verzögerungswinkel. Mit P als Anfangspunkt der Zeit gelten daher die folgenden Bezeichnungen:

$\measuredangle\, AOP = \Theta$ = Epochenwinkel.
$a_1\, p_1$ = Epoche (Zeitabschnitt).
$OA = OE = a$ = Amplitude.
$\measuredangle\, POC = \varphi = \omega\, t$ = In der Zeit t zurückgelegter Winkel.

$\varphi + \Theta$ = Phasenwinkel.
$t + a_1\, p_1$ = Phase.
OP = Vektor.
t = Zeit.

118. Summation zweier periodisch veränderlicher Größen von gleicher Periode und verschiedener Phase.

In Fig. 100 stellen $\overline{OA}$ und $\overline{OB}$ die Höchstwerte zweier periodisch veränderlicher Größen vor. Gerade so wie bei Kräften, Bewegungen u. s. w. kann man auch hier das Parallelogramm $OACB$ einzeichnen, so dass $\overline{OC}$ die Resultierende der Größen $\overline{OA}$ und $\overline{OB}$ wiedergibt. Die Fig. 100 stellt demnach links ein Vektor-, rechts ein Wellendiagramm zweier periodisch veränderlicher Größen von gleicher Periode und verschiedener Phase dar. Zwei solche Größen sind in der Fig. 100

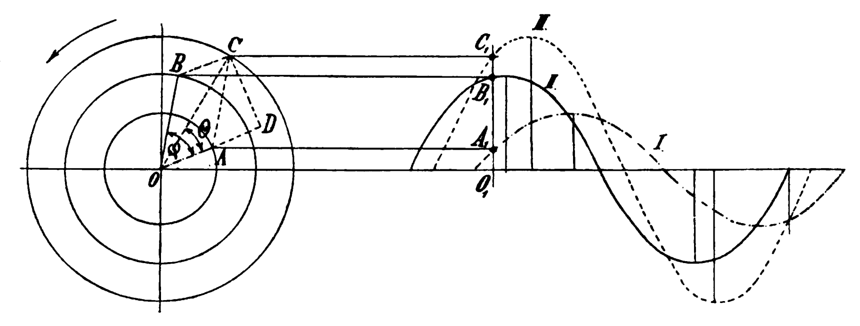


Fig. 100. Vektor- und Wellendiagramm zweier periodisch veränderlicher Größen von gleicher Periode und verschiedener Phase.

rechts durch die Kurven *I* und *II* gegeben; wir wollen es nachweisen, dass die Kurve *III* die Summe der Kurven *I* und *II* veranschaulicht. Errichtet man an irgend einer Stelle des Wellendiagrammes z. B. im Punkte O_1 eine Senkrechte, dann ist $\overline{O_1C_1} = \overline{O_1A_1} + \overline{O_1B_1}$ wobei $\overline{O_1A_1} = \overline{B_1C_1}$. Man kann diese Summation leicht mit Hilfe eines Zirkels oder eines Maßstabes ausführen. In Fig. 100 ist $\overline{O_1C_1} = 15{\cdot}2\ mm$, $\overline{O_1B_1} = 12{\cdot}5\ mm$, $\overline{O_1A_1} = \overline{B_1C_1} = 2{\cdot}7\ mm$. Setzen wir diese Werte in die Gleichung $\overline{O_1C_1} = \overline{O_1A_1} + \overline{O_1B_1}$ ein, so erhalten wir $15{\cdot}2 = 12{\cdot}5 + 2{\cdot}7$.

Anstatt *mm* können wir auch Ampère oder Volt einsetzen, indem wir z. B. 1 Ampère für eine Länge von 1 *mm* annehmen. Damit haben wir den Punkt C_1 der Summenkurve *III* bestimmt; auf dieselbe Art findet man sämmtliche Punkte dieser Kurve. Das Vektordiagramm, linker Theil der Fig. 100, zeigt die folgenden Abmessungen:

Radius des innersten Kreises od. Amplitude der Linie $I = 7{\cdot}5$ *mm.*
„ „ mittleren „ „ „ „ „ $II = 12{\cdot}7$ „ .
„ „ äußersten „ „ „ „ „ $III = 17{\cdot}6$ „ .

Die Vektoren $\overline{OA}$ und $\overline{OB}$ ergeben demnach als Resultierende den Vektor $\overline{OC} = 17{\cdot}6$ *mm.* Ebenso erhält man im Wellendiagramme, rechter Theil der Fig. 100, die Amplitude 17·6 *mm* als Amplitude der Summenkurve *III.* Dreht man das Parallelogramm $OACB$ um den Punkt O, so geben die Projektionen der Vektoren $\overline{OA}$, $\overline{OB}$ und $\overline{OC}$ auf den durch O gezogenen, senkrechten Durchmesser die Werte der veränderlichen Größen *I*, *II* und *III* zu den verschiedenen Zeiten der Bewegung an. Anstatt auf den senkrechten Durchmesser der koncentrischen Kreise kann man die Vektoren $\overline{OA}$, $\overline{OB}$ und $\overline{OC}$ auch auf die senkrechte Gerade $O_1 A_1 B_1 C_1$ projicieren und erhält dann

$\overline{O_1A_1}$ als Projektion von $\overline{OA}$, $\overline{O_1B_1}$ als Projektion von $\overline{OB}$ und $\overline{O_1C_1}$ als Projektion von $\overline{OC}$. Nach dem Carnot'schen Satze (Projektionssatze)[1]) ist, Fig. 100,

$$\overline{OC} = \sqrt{\overline{OA}^2 + \overline{OB}^2 + 2\,\overline{OA}\;\overline{OB}\cos\varphi}\,;$$

aus derselben Figur folgt:

$$tg\,COD = tg\,\Theta = \frac{\overline{CD}}{\overline{DO}} = \frac{\overline{OB}\sin\varphi}{\overline{OA} + \overline{OB}\cos\varphi}.$$

Aus diesen beiden Formeln kann man zunächst $\overline{OB}$ u. Θ berechnen.

119. Zusammensetzung mehrerer periodischer Größen von gleicher Periode und verschiedenen Phasen.

Sind mehr als 2 Vektoren (Komponenten) vorhanden, so erhält man die Resultierende ebenso wie bei Kräften durch Parallelogramme. Den Punkt, in welchem A, B, C und D zusammenstoßen, nennt man Ursprung. Um die Resultierende R zu finden, errichten wir zunächst über den Komponenten A und B ein Parallelogramm; so erhalten wir die erste Resultierende (in der Figur strichpunktiert). Setzen wir die erste Resultierende mit C zusammen, so ergibt sich die zweite Resultierende (in der Figur

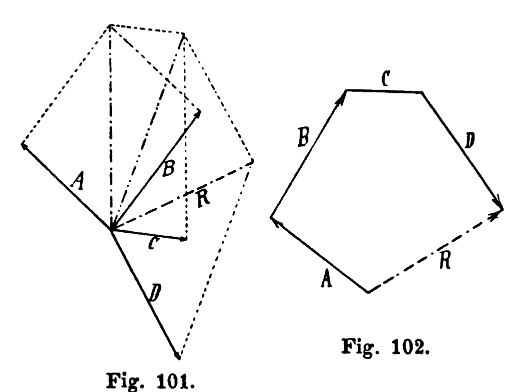


Fig. 101.
Summierung der periodischen Größen A, B, C u. D.

Fig. 102.

[1]) Das Quadrat einer Dreiecksseite wird gefunden, wenn man die beiden anderen Seiten addiert und um das doppelte Produkt dieser Seiten mit dem Cosinus des von ihnen gebildeten Außenwinkels vermehrt.

strichpunktiert). Zeichnen wir über der zweiten Resultierenden und über D das Parallelogramm, dann erhalten wir die dritte Resultierende, die Resultierende R des ganzen Systems.

Eine einfachere Konstruktion der Resultierenden R erscheint in Fig. 102 durchgeführt. Man trägt vom Ursprunge aus der Richtung nach parallel zu A, Fig. 101, die Strecke A, Fig. 102, von gleicher Länge auf, zieht vom Endpunkte der Strecke A, Fig. 102, eine Parallele zu B, Fig. 101, macht B, Fig. 102, so groß als B, Fig. 101, zieht vom Ende B, Fig. 102, eine Parallele zu C, Fig. 101, macht diese so groß als C, Fig. 101, und zieht schließlich von dem Ende von C, Fig. 102, eine Parallele D, Fig. 102, zu D, Fig. 101, und macht diese mit D, Fig. 101, gleich lang. Die Verbindungslinie des Ursprunges mit dem Endpunkte von D, Fig. 102, gibt die Resultierende R des Systems.

In der Fig. 102 ist $A = 26$ *mm*, $B = 20$ *mm*, $C = 10$ *mm*, $D = 19$ *mm* und $R = 21$ *mm*. Haben wir Stromkurven zusammenzusetzen, dann wählen wir für 1 Ampère 1 *mm* oder 1 *cm* oder eine beliebige andere Anzahl von *mm* oder *cm*, je nach der Größe der gewünschten Figur; dann erhalten wir die Resultierende in Ampère.

120. Verhältnis zwischen maximaler und mittlerer elektromotorischer Kraft.

Denkt man sich die Summe sämmtlicher *E. M. K.* innerhalb einer halben Periode, Fig. 99, durch eine mittlere elektromotorische Kraft $M(E)$ ersetzt, so kann man sich dieselbe als die Höhe eines über 0 und 180° bezeichneten Rechteckes darstellen. Setzt man diese Höhe gleich $h = \frac{2a}{\pi}$, so wird man finden, dass die Fläche des Rechteckes gleich ist der Fläche des von der Sinuslinie zwischen 0 und 180° und der Abscissenlinie begrenzten Fläche, d. h. die mittlere elektromotorische Kraft $M(E) = \frac{2a}{\pi} = 0{\cdot}636620\,a$ und demnach ist die größte elektromotorische Kraft $a = \frac{M(E)\pi}{2} = 1{\cdot}57080\ M(E)$. Oder kurz gesagt: Addiert man sämmtliche *E. M. K.* innerhalb einer halben Periode und dividiert durch ihre Summe, so findet man $M(E) = 0{\cdot}636620\,a$.

121. Mittelwerte periodisch veränderlicher Größen (Blakesley).

Bei den Instrumenten, welche auf der Wärmewirkung beruhen, ist die Wärmewirkung (50), bei den Elektrodynamometern die abestoßend Kraft, dem Quadrate der Stromstärke proportional. Die Instrumente messen nicht die einzelnen Werte der Stromstärke, bezw. der elektromotorischen Kraft, sondern nur ihre Mittelwerte, die sogenannte effektive Stromstärke,

bezw. Spannung. Die Stromstärke z. B., welche man mit obigen Instrumenten bei Gleichstrom erhält, ist mit der effektiven Stromstärke bei Wechselstrom zu vergleichen. E sei die Maximalspannung, e ein augenblicklicher Wert der Spannung. Wir wollen die Gesammtwirkung der aufeinanderfolgenden augenblicklichen Spannungswerte z. B. auf das Elektrodynamometer bestimmen. Die einzelnen Spannungswerte sind die Projektionen der maximalen elektromotorischen Kraft E auf die Ordinatenachse. Fassen wir je 2 Projektionen (augenblickliche Werte) zusammen, welche um 90^0 auseinander befindlichen elektromotorischen Kräften entsprechen z. B. e und e'. Die rechtwinkeligen Dreiecke OEe und $OE'e'$ sind kongruent, weil die Hypothenusen und die Winkel OEe und $E'Oe'$ einander gleich sind; die Seiten der letzteren Winkel stehen aufeinander senkrecht.

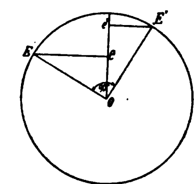


Fig. 103. Mittelwert periodisch veränderlicher Größen.

Daraus folgt sofort: $e^2 + e'^2 = E^2$

$$\frac{e^2 + e'^2}{2} = \frac{E^2}{2} \text{ oder } \sqrt{\frac{e^2 + e'^2}{2}} = \sqrt{\frac{E^2}{2}}, \text{ d. h.}$$

der Mittelwert der Quadrate der augenblicklichen Spannungen e und e' ist gleich dem halben Quadrate der Maximalspannung E. Die am Instrumente abgelesene Spannung oder Stromstärke nennt man e f f e k t i v.

$e_f = \frac{E}{\sqrt{2}}$, giltig für alle Instrumente, deren Wirkung von dem Quadrate der Spannung abhängt. Dasselbe gilt für Stromstärken.

$$i_f = \frac{J}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}7070\ J.$$

122. Arbeit des Wechselstromes.

Um die effektive Arbeit des Wechselstromes zu bestimmen, greifen wir ähnlich wie in 121 zwei Arbeitswerte heraus, welche um $\frac{\pi}{2}$ oder 90^0 voneinander abstehen.

Die zugehörigen Stromstärken oder Spannungen haben gegeneinander die Phasenverschiebung φ. Je zwei solche zusammengehörige Vektoren geben als Mittelwert die effektive Arbeit des Wechselstromes an, d. h. $W = \frac{ei + e'i'}{2}$ = Mittelwert der Energie.

Fig. 104. Arbeit des Wechselstromes.

$$ei = EJ\ sin\,\alpha\ sin\,\beta.$$
$$e'i' = EJ\ cos\,\alpha\ cos\,\beta.$$

$$W = \frac{ei + e'i'}{2} = \frac{EJ\ sin\,\alpha\ sin\,\beta + EJ\ cos\,\alpha\ cos\,\beta}{2} \text{ oder}$$

$$W = \frac{EJ(\sin\alpha\,\sin\beta + \cos\alpha\,\cos\beta)}{2} = \frac{EJ\,\cos\,(\alpha-\beta)}{2} = \frac{EJ}{2}\cos\varphi,$$

und weil $e_f = \frac{E}{\sqrt{2}}$ und $i_f = \frac{J}{\sqrt{2}}$ (121), so ist

$$W = \frac{1}{2}\,e_f\,\sqrt{2}\,.\,i_f\,\sqrt{2}\,\cos\varphi \text{ oder}$$

$W = e_f\,i_f\,\cos\varphi$, worin e_f und i_f die Ablesungen am Elektrodynamometer oder Hitzdrahtinstrumente bedeuten. $\cos\varphi$ nennt man **Leistungsfaktor**.

In Fig. 105 ist die Stromstärke i und die *E. M. K.* e gegeben; dieselben haben keine Phasenverschiebung gegeneinander. Man soll mit

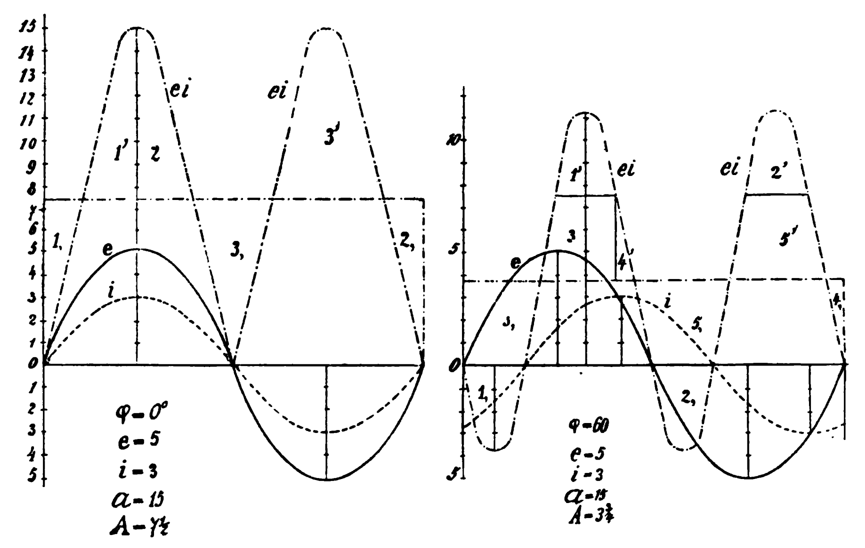


Fig. 105. Arbeit des Wechselstromes bei 0° Phasendifferenz.

Fig. 106. Arbeit des Wechselstromes bei 60° Phasendifferenz.

Benützung der Angaben in derselben Figur die Arbeit dieses Wechselstromes durch ein Wellendiagramm bestimmen. Eine Einheit dieser Figur = 3 *mm*. Im Punkte 0 sind die Stromstärke und die Spannung = 0; es muß also auch ihr Produkt = 0 sein. Die maximale Stromstärke beträgt 3 Ampère, die maximale Spannung 5 Volt; daraus folgt als maximale Arbeit 3 × 5 = 15 Watt = 15 Einheiten = 45 *mm*. Zwischen dem Null- und Maximalwerte liegen alle übrigen Werte. Man findet dieselben ebenso wie zuvor den Maximalwert durch Multiplikation der senkrecht übereinander sich ergebenden Stromstärken und *E. M. K.* In dem Falle also, als keine Phasenverschiebung zwischen Strom und *E. M. K.* statt-

findet, ist die Arbeit des Wechselstromes dieselbe wie diejenige des Gleichstromes, da ja für $\varphi = 0$ die Formel $W = e_f\, i_f \cos \varphi$ in die Formel $W = e_f\, i_f$ übergeht. Die Arbeit des Wechselstromes ist durch die strichpunktierte Kurve und von der durch 0 gezogenen Abscisse umgrenzt. Aus der Figur ist es ersichtlich, dass die Flächen 1. = 1', 2, = 2, 3, = 3', so dass man die Fläche, welche von der Abscisse durch 0 und den strichpunktierten Kurven eingeschlossen erscheint, durch das Rechteck, welches die Abscissenaxe, die Ordinatenaxe und die 2 strichpunk-

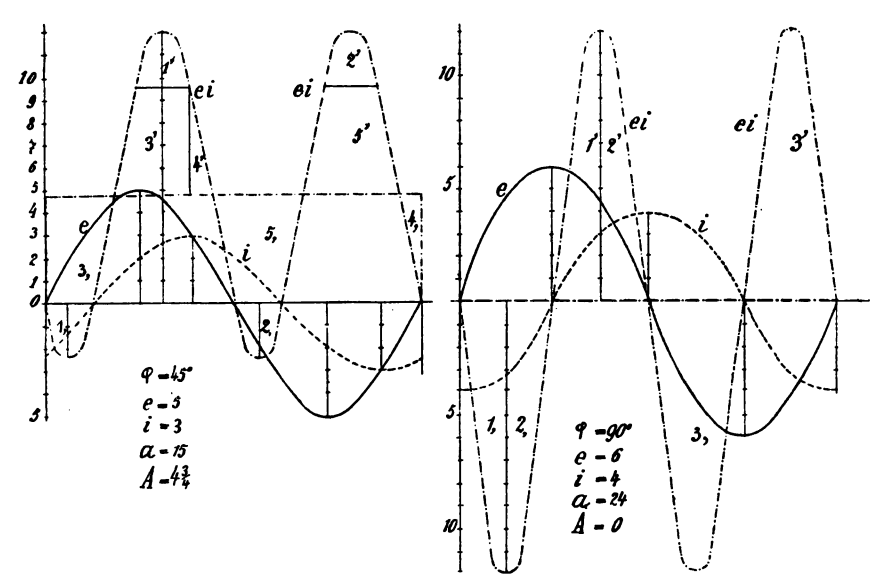


Fig. 107. Arbeit des Wechselstromes bei 45° Phasendifferenz.

Fig. 108. Arbeit des Wechselstromes bei 90° Phasendifferenz.

tierten Geraden einschließen, ersetzen kann. Jede dieser Flächen stellt somit die gesammte Arbeit des Wechselstromes vor. Bezüglich der Arbeitsflächen gelten auch für die Fig. 106 bis 108 dieselben Betrachtungen. Während jedoch in Fig. 105 die Arbeitsflächen nur oberhalb der Abscissenaxe liegen, befinden sich dieselben in den folgenden Figuren 106 bis 108 zum Theile oberhalb (+ Arbeit), zum Theile unterhalb (— Arbeit) der Abscissenaxe. Die Flächeninhalte der von den strichpunktierten Kurven und den Abscissenaxen eingeschlossenen Kurven stellen die e f f e k t i v e n A r b e i t e n der Wechselströme während einer Periode dar, während die einzelnen Ordinaten innerhalb dieser Periode die einzelnen Werte der Arbeit angeben. Nach obigem erscheint es wohl als selbstverständlich, dass die effektive Arbeit des Wechselstromes während einer halben

Periode sowie in Fig. 105 auch in den Fig. 106 und 107 je durch die Rechtecke zwischen der Abscissenaxe, Ordinatenaxe und den 2 strichpunktierten Geraden gegeben sind. Aus der Figur 108 ersieht man, dass diese Arbeit den Wert 0 hat, da die positiven und negativen Arbeitsflächen einander gleich sind. Man nennt deshalb einen solchen Strom, welcher gegen seine Spannung eine Phasenverschiebung von 90° besitzt, einen „wattlosen“ Strom. In den Fig. 105 bis 108 sind schließlich die Phasenverschiebungen φ, Spannungen e, Stromstärken i, maximale Arbeiten a und effektiven Arbeiten A angegeben.

II. Kapitel.

Wechselstromkreis mit Widerstand, Selbstinduktion und Kapacität.

123. Stromkreis mit Widerstand und Selbstinduktion, Fig. 109. J = der Länge der durch O und B gehenden gestrichelten Linie = Maximalwert des Stromes, d. h.: Wir tragen den Strom an irgend einer Stelle des Diagrammes von O aus auf. Der Wert der $E.M.K.$ ohne Selbstinduktion bei der Stromstärke J und dem Widerstand R ist nach dem Ohm'schen Gesetze gleich $JR = \overline{OB}$.

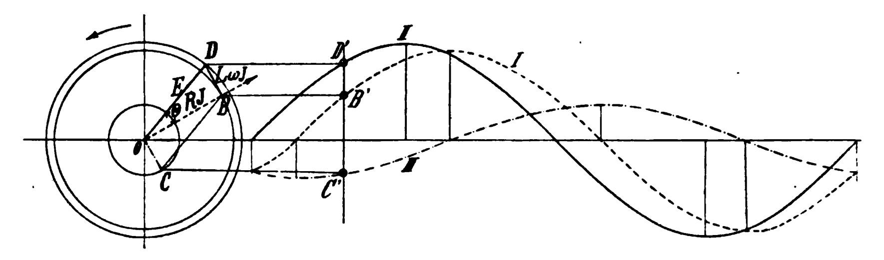


Fig. 109. Wechselstromkreis mit Widerstand und Selbstinduktion.

Wir tragen $\overline{OB}$ auf der durch O und B gehenden, gestrichelten Linie (der Stromstärke) auf, weil zwischen der Stromstärke und der Nutzspannung JR keine Phasendifferenz herrscht. JR stellt eben die Spannung dar, welche zur Überwindung des Ohm'schen Widerstandes erforderlich ist.

Die $E.M.K.$ der Selbstinduktion E_s wird nach früherem um 90° in der Phase hinter J zurückbleiben, weil E_s den größten Wert erreicht, wenn die Stromstärke durch 0 hindurchgeht beziehungsweise die größte Änderung erfährt. Die Strom- und Spannungskurve, d. h. die J- und E_s-Kurve haben demnach eine Phasenverschiebung von 90°, so zwar, dass im Vektordiagramm E_s auf J senkrecht steht. E_s kann dem-

nach durch $\overline{OC}$ dargestellt werden. Ziehen wir $\overline{BD}$ senkrecht auf $\overline{OB}$, so stellt diese Gerade jene *E. M. K.* der Wechselstrommaschine dar, welche zur Tilgung der Selbstinduktion $\overline{OC}$ erforderlich erscheint. $\overline{OC}$ muss von O aus nach abwärts gerichtet sein, weil die *E. M. K.* der Selbstinduktion in der Phase gegen den Strom zurück sein muss, da zunächst der Strom auftritt, welcher die Selbstinduktion hervorruft. Die *E. M. K.* $\overline{BD}$ dagegen, welche zur Tilgung der *E. M. K.* der Selbstinduktion $\overline{OC}$ verwendet wird, muss in der entgegengesetzten Richtung von $\overline{OC}$ auf $\overline{OB}$, also in der Richtung $\overline{BD}$ aufgetragen werden, da nur entgegengesetzt gerichtete *E. M. K.* einander tilgen. Die zur Überwindung des Ohm'schen Widerstandes erforderliche *E. M. K.* $\overline{OB}$ und die *E. M. K.* $\overline{BD}$, die zur Überwindung der Selbstinduktion nothwendig ist, geben als Resultierende die *E. M. K.* der Wechselstrommaschine $\overline{OD} = E$.

Eine Überlegung ergibt wohl, dass die *E. M. K.* der Selbstinduktion $\overline{OC} = E_s$ den folgenden Faktoren proportional ist:

1. Koefficient der Selbstinduktion L, welcher durch die Anzahl der Windungen, die Abmessungen und die magnetischen Eigenschaften des Eisens des ganzen Stromkreises bestimmt erscheint.

2. Stromstärke J.

3. Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{2\pi}{T}$. D. h.:

$$E_s = L\,\omega\,J.$$

Die Figur zeigt weiters, dass $\overline{OD}^2 = \overline{OB}^2 + \overline{BD}^2$ oder $E = \overline{OD} = \sqrt{\overline{OB}^2 + \overline{BD}^2}$. Setzen wir für $\overline{OB}$ und $\overline{BD}$ die obigen Werte ein, so erhalten wir:

$$E = \sqrt{R^2 J^2 + L^2 J^2 \omega^2} \text{ und } E = J\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} \text{ oder}$$

$$J = \frac{E}{\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}}.$$

Diese Gleichung kann man als das Ohm'sche Wechselstromgesetz bezeichnen. Vergleichen wir dasselbe mit dem Ohm'schen Gleichstromgesetze $J = \frac{E}{W}$, so ist sofort ersichtlich, dass der Widerstand W durch den Widerstand $\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$ ersetzt worden ist. Wenn wir in $\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$ das Glied $L^2 \omega^2$ vernachlässigen, was dann möglich ist, wenn der Selbstinduktionskoefficient den Wert 0 hat, so wäre dem Ohm'schen Gleichstromgesetz entsprechend der Nenner $\sqrt{R^2}$ = dem Ohm'schen Widerstande R. Wir sehen daraus, dass mit dem Auftreten von Selbstinduktion der Widerstand vergrößert erscheint.

Man nennt $\sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$ = **Impedanz** = verzögernder oder scheinbarer Widerstand.

$L\omega$ = **Induktanz** nach **Steinmetz**.
= **Reaktanz** = induktiver Wstd.

Aus dem rechtwinkeligen Dreieck ODB folgt:

$$tg\,\Theta = \frac{\overline{BD}}{\overline{OB}} = \frac{L\omega J}{JR} = \frac{L\omega}{R}, \text{ d. h.:}$$

Je kleiner der Widerstand R ist, desto größer ist die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Dasselbe ist ohneweiters auch aus der Figur ersichtlich. Wir sind demnach in der Lage, durch ein Dreieck, z. B. OBD, Fig. 109, die Beziehung zwischen treibender $OD = J\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$, wirksamer $OB = JR$ und gegenwirkender $E.M.K$ $BD = J\omega L$ und Phasenverschiebung Θ darzustellen. Kürzen wir alle 3 Seiten durch J, so erhalten wir ein neues Dreieck, welches dem ursprünglichen Dreiecke ähnlich sein muss. Dieses $\triangle$ stellt die Beziehung zwischen verzögerndem $\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$, Ohm'schem R und induktivem ωL Widerstand und Phasenverschiebung Θ dar.

Das Ohm'sche Gleichstromgesetz lässt sich bekanntlich ebenfalls durch ein Dreieck darstellen. Setzt man z. B. in dem Dreiecke OBD, Fig. 109, OB = Widerstand, BD = Spannung, dann ist

$$tg\,\Theta = \frac{\overline{BD}}{\overline{OB}} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}} = \text{Stromstärke, d. h.:}$$

Die Stromstärke und die Tangente des Winkels Θ sind einander gleich.

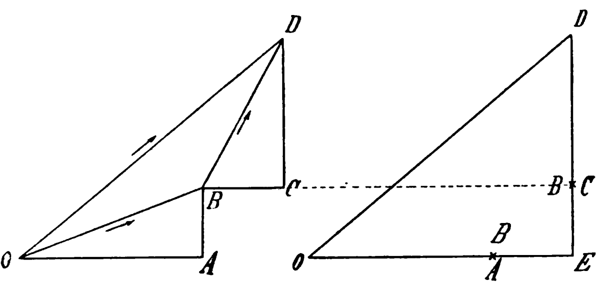


Fig. 110. Widerstände mit Selbstinduktion in Hintereinanderschaltung. Fig. 111.

124. Widerstände mit Selbstinduktion in Hintereinanderschaltung.

Hat man mehrere $E. M. K.$ der Selbstinduktion hintereinander zu schalten, so summiert man dieselben so, wie oben (119) erläutert wurde. Man schiebt deshalb die beiden $E. M. K.$ der Selbstinduktion $\overline{OB}$ und

$\overline{BD}$ ihrer Größe und Richtung nach aneinander. Die Resultierende $\overline{OD}$ gibt dann die *E. M. K.* der Selbstinduktion beider Widerstände mit Selbstinduktion. Noch einfacher kann man die Widerstände der beiden Apparate mit Selbstinduktion $\overline{OA}$ und $\overline{AE}$, Fig. 111, nebeneinander und darauf senkrecht die beiden Selbstinduktionen $\overline{EC}$ und $\overline{CD}$ auftragen. Die Resultierende $\overline{OD}$ gibt dann die resultierende *E. M. K.* der Selbstinduktion.

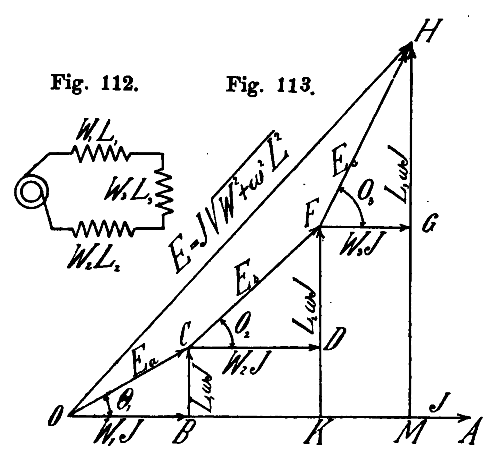


Fig. 112. Schaltungsschema der 3 hintereinander geschalteten Induktionsapparate W_1 L_1 W_2 L_2 und W_3 L_3.

Fig. 113. Konstruktion der resultierenden *E. M. K.* der Selbstinduktion dreier Induktionsapparate.

Fig. 112 stellt das Schaltungsschema dreier hintereinander geschalteter Induktionsapparate mit den Widerständen und Selbstinduktionen W_1 L_1, W_2 L_2 und W_3 L_3 dar. Die zugehörige Konstruktion entsteht im Wesentlichen gerade so wie jene in den Fig. 110 und 111. Aus der Fig. 113 ist es ohneweiters klar, dass nach dem Pythagoreischen Lehrsatze[1]) in dem Dreieck *OMH* der scheinbare Widerstand

$$\sqrt{W^2 + \omega^2 L^2} = \sqrt{(W_1 + W_2 + W_3)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2 + L_3)^2}.$$

Man kann sich demnach die drei Dreiecke *OCB*, *CFD* und *FGH* durch das Dreieck *OHM* ersetzt denken, da die Resultierende in beiden Fällen dieselbe ist.

125. Widerstand ohne Selbstinduktion hinter Widerstand mit Selbstinduktion.

Fig. 114 und 115 stellen den Fall dar, in welchem ein Widerstand ohne Selbstinduktion W_1 hinter einen Widerstand mit Selbstinduktion geschaltet erscheint. Die Konstruktion, Fig. 115, folgt aus den letzten drei

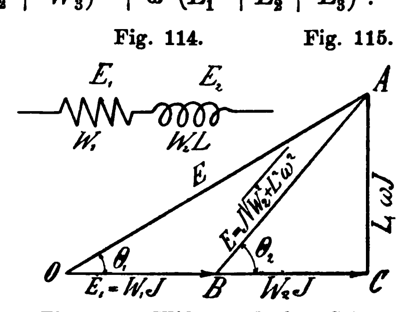


Fig. 114. Widerstand ohne Selbstinduktion W_1 hinter Widerstand mit Selbstinduktion W_2 L.

Fig. 115. Konstruktion der resultierenden *E. M. K.* der Selbstinduktion, wenn ein Widerstand W_1 hinter einen Widerstand W_2 mit Selbstinduktion geschaltet ist.

[1]) Im rechtwinkeligen ebenen Dreieck ist das Quadrat der Hypotenuse gleich der Summe der Quadrate der beiden Katheten.

Konstruktionen, Fig. 110, 111 und 113. Da E_1 keine Phasenverschiebung hat, wird die Strecke $\overline{OB}$ horizontal aufgetragen, daran schließt $E = J\sqrt{W_2^2 + L^2\omega^2}$ unter dem Winkel Θ_2. Für diesen Fall übergeht die obige Formel

$$\sqrt{(W_1 + W_2 + W_3)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2 + L_3)^2}.$$

in die folgende: $\sqrt{(W_1 + W_2)^2 + \omega^2 L^2} =$ Impedanz.

126. Widerstände mit Selbstinduktion in Parallelschaltung.

Zwischen zwei Punkten A und B seien zwei induktive Widerstände nebeneinander geschaltet; die Spannung zwischen A und B sei E.
1. Zweig: Widerstand R_1, Stromstärke J_1, Selbstinduktionskoefficient L_1.
2. „ „ R_2, „ J_2, „ „ L_2.

Tragen wir die Spannung $E = \overline{OA}$, Fig. 116, auf eine Gerade, in irgend welchen Einheiten auf. $\overline{OA} = 42{\cdot}5\ mm$. Für 1 mm = 1 Volt entsprechen 42·5 mm einer Spannung von 42·5 Volt. Diese Spannung $\overline{OA}$ setzt sich in jedem Zweige aus zwei Komponenten zusammen, wovon je eine auf der anderen senkrecht stehen muss (123). Diese beiden Komponenten sind die $E. M. K.$ der Selbstinduktion und die durch den Ohm'schen Widerstand getilgte Spannung; sie gehören einem rechtwinkeligen Dreiecke an.

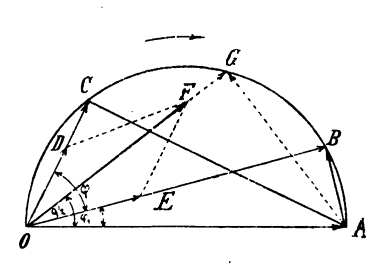


Fig. 116. Nebeneinanderschaltung zweier induktiver Widerstände.

Sämmtliche rechtwinkelige Dreiecke aber, welche man mit OA als Hypothenuse zeichnen kann, liegen in einem Halbkreise, dessen Halbmesser $= \dfrac{\overline{OA}}{2}$ ist, Fig. 116.

Zieht man diesen Halbkreis und trägt von $\overline{OA}$ aus den Winkel φ_1, die Phasenverschiebung des ersten Zweigstromes auf, so muss $\overline{OB} = J_1 R_1$ sein. Ebenso trägt man von $\overline{OA}$ aus den Winkel $(\varphi + \varphi_1)$ auf und dann ist für den zweiten Zweigstrom $\overline{OC} = J_2 R_2$. Dividiert man einerseits $\dfrac{J_1 R_1}{R_1}$ und $\dfrac{J_2 R_2}{R_2}$, d. h. dividiert man die Volt durch die Ohm, dann erhält man $\overline{OE}$ und $\overline{OD}$ die beiden Zweigströme und durch das Parallelogramm $OEFD$ die resultierende Stromstärke $\overline{OF}$.

Da die beiden Zweige nebeneinander geschaltet sind, muss E in den Zweigen denselben Wert haben und es folgt aus den Kirchhoff'schen Gesetzen:

$$E = J_1\sqrt{R_1^2 + \omega^2 L_1^2} = J_2\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} \text{ oder}$$

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}}{\sqrt{R_1^2 + \omega^2 L_1^2}} \text{ und } tg\,\varphi_1 = \frac{L_1\,\omega}{R_1},\ tg\,(\varphi_1 + \varphi) = \frac{L_2\,\omega}{R_2}.$$

Schließlich folgt aus der Figur $E = J\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ und $tg\,\varphi_2 = \frac{L\,\omega}{R}$.

Beispiel: Mit Berücksichtigung der Abmessungen der Fig. 116 seien gegeben: $R_1 = 2{\cdot}64$ Ohm, $R_2 = 1{\cdot}58$ Ohm, $L_1\,\omega = 0{\cdot}7$, $L_2\,\omega = 3{\cdot}1$; φ_1, $\varphi_1 + \varphi$, J_1, J_2, J, W_1 und W_2 sind zu ermitteln.

$$tg\,\varphi_1 = \frac{L_1\,\omega}{R_1} = \frac{0{\cdot}7}{2{\cdot}64} = 0{\cdot}266;\ \varphi_1 \sim 15^0.$$

$$tg\,(\varphi_1 + \varphi) = \frac{L_2\,\omega}{R_2} = \frac{3{\cdot}1}{1{\cdot}58} = 1{\cdot}96;\ \varphi_1 + \varphi \sim 63^0.$$

Trägt man φ_1 und $\varphi_1 + \varphi$ von OA aus auf und schlägt über $\overline{OA}$ den Halbkreis, dann erhält man $\overline{OB} = J_1 R_1 = 41$ Volt und $\overline{OC} = J_2 R_2 = 19$ Volt; daraus und aus den Angaben folgt: $J_1 = \frac{41}{2{\cdot}64} = 15{\cdot}5$ Ampère und $J_2 = \frac{19}{1{\cdot}58} = 12$ Ampère. Zeichnet man deshalb über $\overline{OE} = 15{\cdot}5$ und $\overline{OD} = 12$ das Parallelogramm und misst die Resultierende $\overline{OF}$ ab, so findet man $\overline{OF} \sim 27$ *mm* ~ 27 Ampère.

Der scheinbare Widerstand $W_1 = \sqrt{R_1^2 + (L_1\,\omega)^2} = \sqrt{(2{\cdot}64)^2 + (0{\cdot}7)^2} = 2{\cdot}73$ Ohm.

Der scheinbare Widerstand $W_2 = \sqrt{R_2^2 + (L_2\,\omega)^2} = \sqrt{(1{\cdot}58)^2 + (3{\cdot}1)^2} = 3{\cdot}4$ Ohm.

Aus dem Dreiecke OGA folgen die Gleichungen $\overline{OG} = JR$ 34 *mm* = 34 Volt und $\overline{AG} = J\,\omega\,L = 26$ *mm* = 26 Volt.

Da $J = 27$ Ampère, wird $R = \frac{34}{27} = 1{\cdot}26$ und $\omega\,L = \frac{26}{27} = 0{\cdot}9$.

127. Kondensator im Wechselstromkreis. In dem Stromkreise einer Wechselstrommaschine befinde sich ein induktionsloser Widerstand W und ein Kondensator, dessen Kapacität $= C$ Farad. Die Vektoren, Fig. 117, drehen sich in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Das Dielektricum wird dann scheinbar von einem Strom J durchflossen, den wir uns als Vektor $\overline{OA}$ an irgend einer Stelle des Vektor-Diagrammes auftragen. Dieser Strom erzeugt in dem Widerstande W den Spannungsverlust $W.J$, welchen wir, da er mit dem Strome J gleiche Phase haben muss, auf $\overline{OA}$ auftragen und gleich $\overline{OB}$ annehmen wollen. Der Kondensator wird eine bestimmte Potentialdifferenz annehmen und wir wollen nachweisen, dass wir dieselbe durch $\overline{OD}$ darstellen können. Aus 123 folgt, dass Strom und *E. M. K.* der Selbst-

induktion aufeinander senkrecht stehen. Schalten wir nun in einen Telephonstromkreis eine Selbstinduktion oder einen Kondensator ein, dann wird das Gespräch undeutlich; schalten wir jedoch Selbstinduktion und Kapacität zugleich in den Telephonstromkreis, dann wird bei passender Wahl dieser Größen das Gespräch wieder deutlich, d. h.: **Selbstinduktion und Kapacität heben einander auf.** Aus diesem

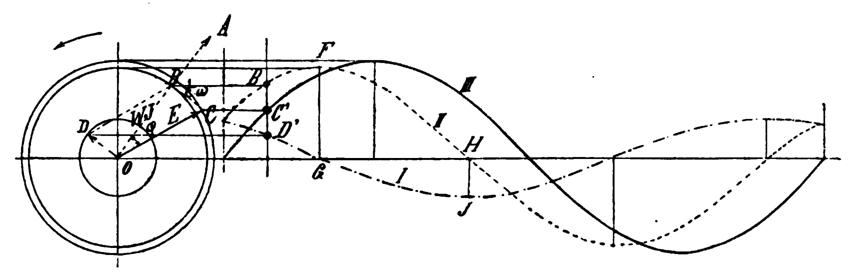


Fig. 117. Widerstand und Kapacität in Hintereinanderschaltung.

Grunde müssen wir diese beiden Größen im Diagramme in der entgegengesetzten Richtung auftragen. In Fig. 109 haben wir die $E. M. K.$ $\overline{OC}$ senkrecht nach abwärts auf den Strom errichtet, in Fig. 117 müssen wir demnach die $E. M. K.$ $\overline{OD}$ senkrecht und in der entgegengesetzten Richtung auf den Strom auftragen. Während demnach bei der Selbstinduktion die $E. M. K.$ um 90° hinter dem Strome zurückbleibt, eilt die $E. M. K.$ des Kondensators dem Strome um 90° voraus. Die $E. M. K.$ der Wechselstrommaschine, welche die Potentialdifferenz am Kondensator aufzuheben hat, kann man demnach in der entgegengesetzten Richtung von $\overline{OB}$, also in der Richtung $\overline{BC}$ auftragen. Eine Überlegung ergibt, dass die Potentialdifferenz am Kondensator $\overline{BC}$ der Stromstärke J gerade, der Kapacität C und der Winkelgeschwindigkeit ω dagegen verkehrt proportional ist, d. h.: $\overline{BC} = \frac{J}{\omega C}$.[1])

Die Klemmenspannung der Wechselstrommaschine E setzt sich aus den beiden Komponenten $\overline{OB}$ und $\overline{BC}$ zusammen; sie entspricht demnach dem Vektor $\overline{OC}$. Aus Fig. 117 folgt:

$$E = \sqrt{\left(\frac{J}{\omega C}\right)^2 + (J W)^2} = J \sqrt{\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2 + W^2} \quad \text{und}$$

$$J = \frac{E}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2 + W^2}}.$$

---

[1]) Eine trigonometrische Ableitung dieser Formel gibt Thomas H. Blakesley. Die elektrischen Wechselströme, 1891, S. 18 bis 23.

Man kann diese Formel als das Ohm'sche Gesetz für obigen Kondensatorstromkreis bezeichnen. In dem Dreiecke OBC ist

$$\text{schließlich } tg\,\varphi = \frac{\overline{BC}}{\overline{BO}} = \frac{\frac{J}{\omega C}}{JW} = \frac{1}{\omega C W}.$$

Fig. 117 stellt links das Vektor-, rechts das Wellendiagramm dar. Im Vektordiagramm versinnlichen $\overline{OD} = \overline{BC}$, JW und E Maximalwerte. Die augenblicklichen Werte dieser Größen innerhalb einer halben Periode erhält man, wenn man das Parallelogramm $ODBC$ einmal um den Punkt O herumdreht und die Vektoren $\overline{OD}$, $\overline{OB}$ und $\overline{OC}$ auf die durch O gezogene Ordinatenaxe projiciert. In der Figur erscheinen $\overline{OD}$, $\overline{OB}$ und $\overline{OC}$ auf die Ordinatenaxe $BC'D'$ projiciert und die Abstände der Punkte D' C' und B von der Abscissenaxe, der Horizontalen durch O, sind die augenblicklichen Werte (die Projektionen). Der rechte Theil der Fig. 117 veranschaulicht das Wellendiagramm. In diesem Diagramm verstehen wir unter der Kurve I die Klemmenspannung der Wechselstrommaschine, unter III die Kurve der Spannung WJ und unter der Kurve II die Kondensatorspannung. In dem Bilde soll die Kurve II der Summe der Kurven I und III gleich sein (118).

Namen- und Sachverzeichnis.

Die Namen und Firmen sind gesperrt gesetzt.

Berichtigungen:

Seite 17, Zeile 4 v. o. lies Q, statt q.

„ 45, „ 8 v. o. sind nach σ die Worte „eines Körpers“ einzuschalten.

„ 50, „ 2 v. o. lies 2·31, statt 0·4, denn $N = \frac{R-r}{h} = \frac{96-22}{2{\cdot}31} \infty 32$.

„ 80, „ 13 v. o. lies Glimmerplatte, statt Silberplatte.

„ 84, „ 4 v. o. lies Physikalische, statt Elektrische

„ 92, „ 11 v. u. lies L^2 statt L.

„ 93, „ 12 v. u. lies $\frac{M}{V}$, statt $M V$.

„ 93, „ 11 v. u. lies $J = \frac{L^{5/2} M^{1/2} T^{-1}}{L^3} = L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$,

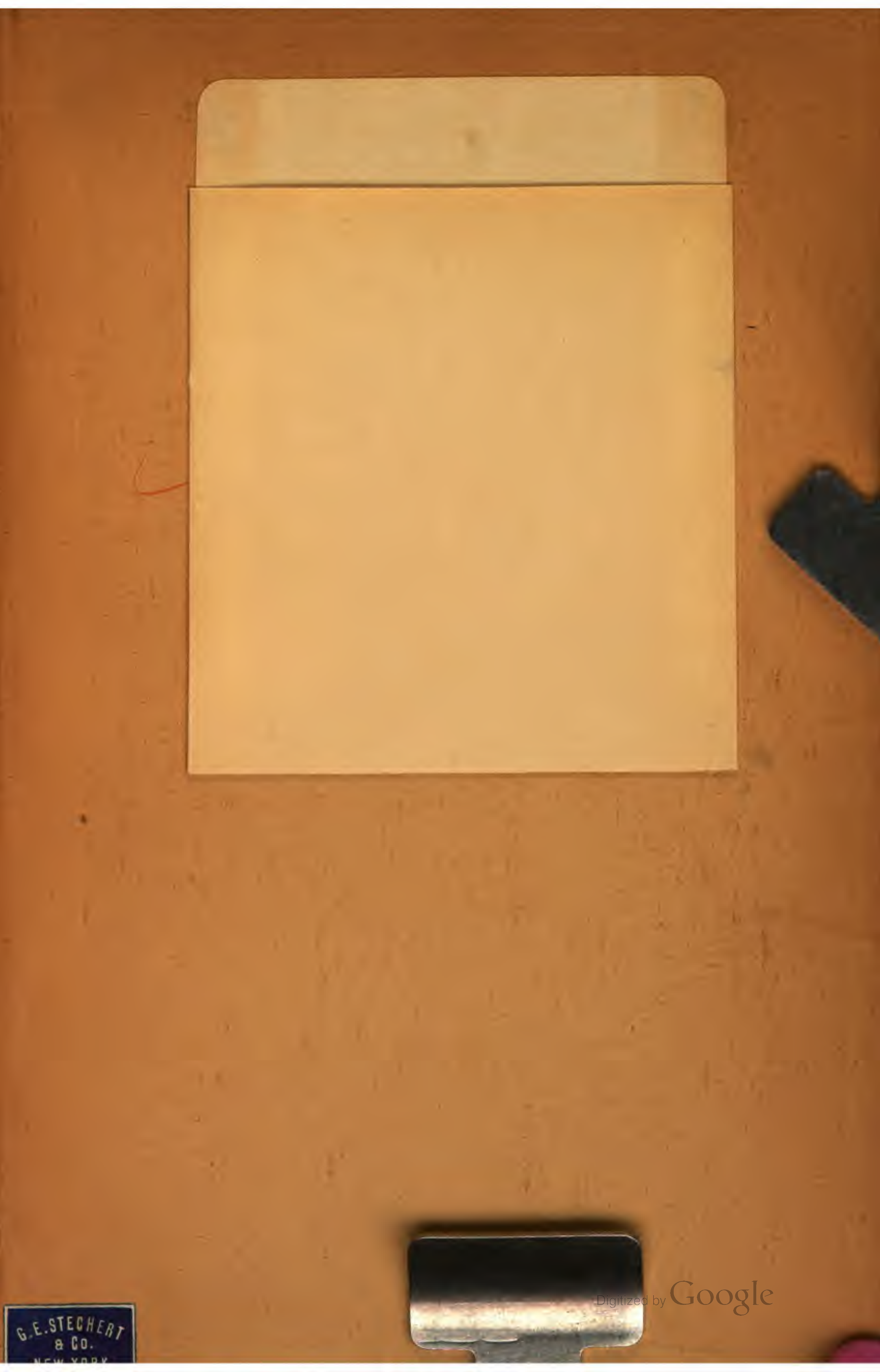
statt $J = \frac{L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}}{M} = L^{5/2} M^{-1/2} T^{-1}$.

„ 93, „ 8 v. u. lies $1\ M^{-1/2} Kg^{1/2} S^{-1} = \frac{100^{-1/2} C^{-1/2} 1000^{1/2} G^{1/2}}{S} = 10^{1/2} C^{-1/2} G^{1/2} S^{-1}$,

statt $1\ M^{5/2} Kg^{-1/2} S^{-1} = \frac{100^{5/2} C^{5/2} S^{-1}}{1000^{1/2} G^{1/2}} = 10^{7/2} C^{5/2} G^{-1/2} S^{-1}$.

„ 95, „ 8 v. u. lies $F = \frac{L M T^{-2}}{L^{3/2} M^{1/2} T^{-1}} = L^{-1/2} M^{1/2} T^{-1}$,

statt $F = \frac{L M T^{-2}}{L^3 M^{1/2} T^{-1}} = L^{-1} M^{1/2} T^{-1}$.


G.E.STECHERT
& Co.
NEW YORK